SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

ANNÉE 1894

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1894

DEUXIÈME VOLUME

PARIS
SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ
10, CITÉ ROUGEMONT, 10

1894





MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JUILLET 1894

N° 7

Sommaire des séances du mois de juillet 1894 :

Pendant le mois de juillet 1894, la Société a reçu :

33948 et 33949 — De MM. E. Bernard et Cie, éditeurs. *Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893*. 3e Partie. *Électricité industrielle*, par MM. Grille et Falconnet (grand in-8° de 250 p. avec atlas grand in-4° de 78 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

33950 — De M. A. Brüll (M. de la S.). *Note sur le rafraîchissement des habitations dans les pays chauds* (in-8° de 6 p.). Le Caire, Imprimerie nationale, 1894.

33951 — De M. N. Belelubsky (M. de la S.). *Ponts métalliques en Russie* (in-8° de 11 p.). Paris, Société des Ingénieurs Civils de France, 1894.

33952 — Du même (M. de la S.). *Pratique des ponts. Ponts métalliques à entretoises libres et rigidité de la superstructure* (in-8° de 47 p. avec 1 pl. en russe). Kiew, 1894.

33953 — De M. N.-J. Raffard (M. de la S.). 1° *Ancien projet de locomotive électrique à grande vitesse* (in-8° de 4 p.); 2° *Régularisation du mouvement des machines au moyen de l'accouplement élastique Raffard* (in-8° de 4 p.). Paris, Chaix, 1892.

33954 — De M. Ch. Compère (M. de la S.). *Association Parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur. 20e Bulletin. Exercice 1893.* Paris, Siège de l'Association, 1894.

33955 — De M. Walther-Meunier (M. de la S.). *Association Alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur. Section française. 26e année, Exercice 1893.* Nancy, Berger-Levrault, 1894.

33956 — De M. Charton (M. de la S.) de la part de M. Herdner, Ingé-
et 33957 nieur du Service Central de la Traction de la Compagnie du Midi. *Questionnaire sur la construction et la conduite des locomotives : 1re Partie. Notions sur la construction des locomotives; 2e Partie. Conduite des locomotives et avaries de route* (2 vol. in-4° de 228 p. et de 219 p. autog.).

33958 — De M. Ch. Baudry (M. de la S.). *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Notice sur le Matériel exposé par le Service du Matériel et de la Traction à l'Exposition universelle de Lyon en 1894* (in-4° de 8 p. avec 1 pl.). Paris. A. Maulde et Cie, 1894.

33959 — Du même (M. de la S.). *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Notice sur le Matériel exposé à l'Exposition universelle d'Anvers en 1894* (in-4° de 7 p. avec 3 pl.). Paris, A. Maulde et Cie, 1894.

33960 — De la Chambre de Commerce de Rouen. *Compte rendu des travaux pendant l'année 1893.* Rouen, Lapierre, 1894.

33961 — De l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand. *Mémoires. 2e Série. Fascicule 6.* Clermont-Ferrand, Louis Bellet, 1893.

33962 — De la même. *Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne. 2e Série, 1893. Nos 1 à 10.* Clermont-Ferrand, Louis Bellet, 1893.

33963 — *Praca Gazów w pompach gazowych, powietrznych i kompresorach*, przez Al. Kuczynskiego (in-8° de 27 p.). Warszawa, 1894.

33964 — De M. N. Belelubsky (M. de la S.). *Johann Bauschinger. Notice Biographique* (grand in-8° de 9 p.). Saint-Pétersbourg, 1894.

33965 — De MM. L. Périssé et A.-V. Roy (M. de la S.). *Le Canadian Pacific Railway* (grand in-8° de 86 p. et 2 pl.). Paris, Société des Ingénieurs Civils de France, 1894.

33966 — De M. J. Gougé. *Annuaire des Mines, de la Métallurgie, de la Construction mécanique et de l'Électricité.* 19e année, 1894. Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

33967 — De M. R.-H. Thurston (M. de la S.). *The Theory of the Steam-Jacket; Current Practice* (in-8° de 95 p.). New York, American Society of Mechanical Engineers, 1894.

33968 — De M. L. Neu (M. de la S.). *Perforatrice électrique à percussion, système Thomson-Houston* (in-8° de 6 p.). Paris, Lahure, 1894.

33969 — De la Société générale d'éclairage et de force motrice. *L'air comprimé à Paris. Sa production, ses applications et son prix de revient*, par V. Popp (grand in-8° de 53 p. avec 5 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

33970 — De la même. *Traction à air comprimé par alimentation directe, système Conti.* Paris, H. Faure, 1894.

33971 — De l'Association française pour l'avancement des sciences. *Compte rendu de la 22e session.* Besançon, 1893. *Seconde partie. Notes et Extraits.* Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 1894.

33972 — De M. Ém. Lemoine. *Notes de géométrie* (in-8 de 15 p.) Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 1894.

33973 — Du même. *Complément de Géométrographie* (in-8° de 20 p.). Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 1894.

33974 — Du même. *Application au tétraèdre de la transformation continue* (in-8° de 18 p.). Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 1894.

33975 — Du même. *Nuevo medio de obtener fórmulas en la géometria del triángulo* (in-8° de 5 p.). Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 1894.

33976 — De la Société internationale des Électriciens. *Règlement et Tarif des Essais et Établissements du Laboratoire Central d'Électricité.* (grand in-8° de 7 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33977 — Du Zprávy Spolku Architecktu a Inzenyru v Kralovstvi Ceském. *Kempendium Geodésie a Sférické Astronomie. Géodésie Nizsi*, napsal F. Müller (fascicule n° 3). V. Praze. 1894.

33978 — De l'Association pour prévenir les accidents de fabrique, fondée sous les auspices de la Société industrielle de Mulhouse. *Comptes rendus des 25e et 26e exercices 1892-1893.* Mulhouse, Ve Bader et Cie, 1894.

33979 — De la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale. *Unification des filetages et des jauges de tréfilerie. Règles pour la construction des vis mécaniques et jauge pour les fils métalliques établies par la Société d'Encouragement, à la suite de l'enquête faite en 1893-1894* (petit in-4° de 12 p.). Paris, Chamerot et Renouart, 1894.

33980 — De M. R.-H. Thurston (M. de la S.) *The Animal a sa Machine and a Prime Motor and the Laws of Energetics* (in-12 de 97 p.). New-York, John Wiley and Sons, 1894.

33981 — De M. F. Weidknecht (M. de la S.). *Achèvement du canal de Panama. Traversée de la Culebra par un chemin de fer à navires* (grand in-4° de 46 pl., avec 2 pl. autog.). Paris, 1894.

33982 — De la Société impériale Russe de Géographie. *Ottchete Imperatorskagho Rousskagho Gheoghraphitcheskagho Obstchestva za 1893 rode*. Saint-Pétersbourg, 1894.

33983 — De M. Edmond Thery. *Projet financier pour l'Exposition universelle de 1900* (in-8° de 27 p. avec 1 annexe). Paris, Économiste Européen, 1894.

33984 — De M. J. Guillermet. *Utilisation des chutes de la Valserine au-dessus de Châtillon-de-Michaille (Ain), pour la production de la force motrice* (in-4° de 7 p. avec 1 pl.). Paris, Ed. Rousset, 1894.

33985 — De M. J. Forest. *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Vol. CXVI. Part. II, 1893-1894. London, 1894.

33986 — De M. G. A. Pryce Cuxton. *Society of Engineers. Transactions for 1893 and General Index 1860-to 1893*. London, 1894.

33987 — De M. Maurice Dufourmantelle. *Code manuel de droit industriel. III. Marques de fabrique. Dessins et Modèles. Nom commercial, concurrence déloyale* (in-8° de 241 p.). Paris, V. Giard et E. Brière, 1894.

33988 — De M. G. Mercier. *Questions Parisiennes. La vérité sur le tube Berlier* (in 8° de 38 p.). Paris, Bernard-Tignol, 1894.

33989 — De l'American Academy of Arts and Sciences. *Proceedings. New-Serie XX. 1893*. Boston, 1893.

Les membres nouvellement admis pendant le mois de juillet 1894 sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

P. Billaud, présenté par MM. Candlot, Chalon, A. Moreau.
A.-E. Carbonel, — Delaunay, Lippmann, Maire.
E.-J. Charruyer. — Buquet, du Bousquet, Lippmann.
C.-E. Coustenoble, — Lesourd, Seguela, Weidknecht.
E.-F. Farcot fils, — J. Farcot, P. Farcot, Chateau.
A.-J.-M. Farcot, — J. Farcot, P. Farcot, Louisse.
J. Hebert, — du Bousquet, Jordan, Wurgler.
V.-L.-M. Langlois, — Chouanard, E. Joubert, Montupet.
A. Maurice, — Carimantrand, Lévi, A. Mallet.
A. Parvillée, — Fichet, Rechniewski.
H.-J.-F. Poisson, — Bougault, Rauly, Weil.
P.-E. Sarasin, — Pierron, Walther Meunier, de Dax.
H. Thuile, — Baudot, Cazeau, Ventre Bey.
A.-J.- A. Vautier, — Legenisel, G. Richard, Walrand.
A. Walbaum, — Buquet, Lippmann, Th. Guérin.

Comme membres associés :

A.-L. Lanseigne présenté par MM. J.-A. Amiot, Chardon, Lavezzari.
A. Medrado, — Bel, Baclé, Grille.
R.-J.-V. Millot, — Audebert, J. Groselier, E. Groselier.
J. de Sa Pereira, — Gouilly, S. Périssé. L. Périssé.
E. Salmson, — Dubois, E. Lippmann, Th. Guérin.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUILLET 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 6 JUILLET 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance précédente est adopté.

La parole est à M. J. Charton, qui s'exprime en ces termes :

Messieurs et chers Collègues,

Notre éminent et dévoué Président, invité par la municipalité de Lyon, se trouvait dans cette seconde grande ville de France, le dimanche 24 juin dernier, lorsque le Président de la République Carnot est tombé mortellement frappé par le poignard d'un misérable assassin.

Notre Président, dès son retour à Paris, s'est empressé d'adresser à Mme Carnot, au nom de la Société, les témoignages de notre plus douloureuse sympathie.

J'ai été chargé de remettre la lettre, et Mme Carnot, extrêmement touchée, m'a prié de vous transmettre tous ses remerciements.

Toute la vie de Carnot n'a été que loyauté, devoir, honneur et dévouement, et l'Histoire dira que c'est sous sa Présidence que la France acheva de réparer ses défaites et de reprendre son rang dans le monde.

Si, à la nouvelle de l'épouvantable attentat, nous avons tous été profondément émus et troublés, comme patriotes, nous avons aussi éprouvé le douloureux sentiment que nous perdions un des nôtres. Carnot, en effet, appartenait, au premier chef, à la grande famille des travailleurs, des Ingénieurs.

Aussi, avons-nous tenu à assister aux funérailles, comme membres de la Société des Ingénieurs Civils de France.

La mort de Carnot a causé un tel deuil national qu'on doit espérer en voir sortir un grand enseignement, et je vous demande la permission de rappeler cette phrase du discours qu'il a prononcé quelques instants avant de succomber.

« Dans notre chère France, a-t-il dit, un seul cœur bat dans toutes les poitrines quand l'honneur, la sécurité, les droits de la patrie sont en cause. L'union de tous ses enfants ne saurait faire défaut à la France pour assurer sa marche incessante vers le progrès et la justice. »

Permettez-moi aussi, Messieurs et chers Collègues, d'adresser de nouveau, au nom de la Société, à Mme Carnot, à sa fille et à ses trois fils l'expression de notre douloureuse et respectueuse sympathie. *(Approbation.)*

M. le Président se lève à son tour et prononce les paroles suivantes :

Messieurs,

Je vous demande la permission d'ajouter quelques mots aux paroles émues que notre Collègue, M. J. Charton, vient de prononcer.

Je crois devoir vous donner connaissance des termes de la lettre dont M. Charton vient de vous parler et que le mardi 17 juillet j'ai adressée en votre nom à Madame Carnot :

« Madame,

» La Société des Ingénieurs Civils de France est en deuil comme tous les Français.

» Témoin de l'horrible crime, j'ai l'honneur de vous prier de bien vouloir agréer l'expression de notre profonde douleur.

» Daignez aussi, Madame, recevoir le triste hommage de notre sympathie la plus respectueuse.

» Le Président de la Société des Ingénieurs Civils de France,

» G. du Bousquet. »

J'ai tenu à ce qu'elle fût remise à Mme Carnot elle-même, et je l'ai confiée à notre Collègue M. J. Charton, Vice-Président de la Société, ami d'enfance du regretté Président de la République.

Je tiens aussi à vous faire savoir que les Ingénieurs Russes et Américains avec lesquels nous entretenons de si cordiaux rapports d'amitié, ne nous ont pas oubliés dans notre malheur.

Ils ont eu, les uns et les autres, la touchante pensée de nous demander d'être auprès de Mme Carnot les interprètes de *leurs douloureux sentiments* et nous ont adressé les dépêches suivantes :

« Ingénieurs Civils, Paris.

» New-York, 26 juin 1894.

» Transmettez profonde sympathie pour Mme Carnot, de la part des Ingénieurs des États-Unis.

» Corthell. »

« Ingénieurs Civils, Paris.

» Saint-Pétersbourg, 27 juin 1894.

» Profondément émus par la fin tragique du vénérable Président Carnot, Ingénieurs Russes prient Ingénieurs Civils Français, leurs Collègues, de vouloir bien porter l'expression de leur profonde douleur à Madame Carnot et à toute la nation fraternelle.

» Ghercevanof, Tadejef, Salof, Golowin, Kerbedz, de Timonoff, Gitcoff, Belelubski. »

« Ingénieurs Civils, Paris.

» Kiew, 27 juin 1894.

» Consternés par la fin tragique de l'illustre Président Carnot, les soussignés, Membres de la Société des Ingénieurs Civils de France, et autres Ingénieurs résidant à Kiew, s'empressent d'exprimer à leurs chers Collègues Français les profonds regrets que leur fait éprouver cette perte irréparable, non seulement pour la France, mais aussi pour le Génie Civil universel.

» De Borodine, d'Abramson, Lœvy, Savelieff, Krause, Chichniakoff, Sementchnikoff, Pogrebinski, Stolzmann, Daragane, Walechski, Cholodecki. »

Je me suis empressé de faire parvenir ces dépêches à M[me] Carnot, par la même voie.

J'ai remercié par dépêche nos excellents amis, et je compte, après la séance d'aujourd'hui, leur transmettre par lettre, l'expression de vos sentiments de gratitude.

J'ai aussi à vous demander, Messieurs, conformément aux Statuts, de ratifier une dépense de 700 *f* que nous avons faite pour acheter et faire transporter au Panthéon une couronne que plus de quatre-vingts membres de la Société, répondant à notre appel, se sont fait un devoir d'accompagner. *(Approbation unanime.)*

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. Lemonnier (P. H.), membre de la Société depuis 1871; ancien élève de l'École Polytechnique et Ingénieur civil des mines, M. Lemonnier était chevalier de la Légion d'honneur.

M. le Président annonce que la Société d'encouragement pour l'industrie nationale a décerné des récompenses importantes à plusieurs membres de la Société :

Le prix de 3 000 *f* à M. L. Dulac;

Une médaille d'or à M. A. de Bovet.

Nous adressons avec plaisir nos félicitations à nos Collègues pour ces succès.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, parmi lesquels il signale particulièrement l'important travail de M. Herdner, Ingénieur du Service central de la Compagnie des chemins de fer du Midi, sur la construction et la conduite des locomotives.

D'autre part, M. Delachanal, Ingénieur de la Chambre de commerce du Havre et notre correspondant dans cette ville, nous a fait parvenir un rapport sur certaines applications du génie sanitaire en Angleterre, rapport fait à la suite d'une mission qui lui avait été confiée par la Chambre de commerce du Havre.

M. J. Charton désire ajouter quelques mots au sujet de l'ouvrage de M. Herdner qui vient d'être signalé.

Il y a quelque temps, notre excellent Collègue, M. G. Richard, nous a parlé de l'ouvrage de M. Sauvage sur *La Locomotive*; celui de M. Herdner est à peu près conçu dans le même ordre d'idées.

Les Ingénieurs qui occupent les quelques loisirs que leur laissent leurs fonctions à résumer et condenser les connaissances qu'ils ont acquises dans leurs spécialités pour en instruire les agents placés sous leurs ordres font véritablement une œuvre utile, et on ne saurait trop les en féliciter. Aussi, M. Charton pense-t-il qu'il est bon de signaler ces exemples pour qu'ils aient des imitateurs aussi nombreux que possible.

M. le Président remercie M. Charton des paroles qu'il vient de prononcer et qui sont empreintes d'une grande justesse.

M. le Président a reçu un avis du Ministère du Commerce relatif à l'ouverture de deux concours pour l'emploi de professeur de dessin et de professeur de mathématiques dans les Ecoles nationales d'Arts et Métiers, concours qui auront lieu à Paris les 8 et 11 octobre prochain.

Les renseignements sont déposés au Secrétariat.

M. le Président donne ensuite lecture d'une lettre de M. M.-L. Langlois qui renouvelle ses remerciements à la Société au sujet du prix Annuel qui lui a été décerné dans la précédente séance.

M. Bertrand de Fontviolant a également écrit pour remercier du prix Nozo et prie M. le Président de verser au compte « Reconstruction de l'Hôtel de la Société » la somme de 368,45 *f* afférente à ce prix.

M. le Président annonce qu'il a déjà écrit à notre collègue pour le remercier de sa générosité. *(Applaudissements.)*

La parole est à M. Richard au sujet du projet *d'unification du filetage et des jauges*.

M. G. Richard rappelle qu'en 1891, sur l'initiative de M. Sauvage, la Société d'Encouragement s'est très vivement occupée de cette importante question; elle a nommé une commission qui, après de nombreuses séances, a publié sur l'unification du filetage et des jauges un mémoire considérable qui a été distribué à tous les membres de la Société.

A la suite de ce mémoire, on a convoqué dans l'Hôtel de la Société d'Encouragement une sorte de congrès qui s'est réuni le 10 mai de cette année. Il y figurait un certain nombre de nos Collègues, des représentants des grandes Compagnies de chemins de fer, des grandes Industries, et même de l'État, de la Marine et de l'Artillerie; après discussion, on a accepté les propositions de la commission avec certaines modifications introduites d'un commun accord.

M. G. Richard présente un opuscule qui sera distribué aux membres de la Société par la Société d'Encouragement; c'est un résumé des travaux à la suite desquels a été défini le système employé qui a reçu le nom de *filetage français*.

C'est une très heureuse innovation dont nos Collègues comprennent toute l'importance; on doit se féliciter d'avoir réussi dans notre pays, où les tentatives de ce genre rencontrent parfois une certaine résistance, à obtenir en si peu de temps l'adhésion pour ainsi dire universelle de tous les intéressés.

Le mérite de cette entente est d'autant plus grand que l'adoption du nouveau système exigeait de la part de presque tous des dépenses de construction d'un nouvel outillage. Comme l'a dit notre Président, qui a accordé son concours dévoué à cette œuvre, cela prouve qu'en France

les intérêts particuliers savent céder devant l'intérêt général quand il s'agit d'aboutir à des solutions pratiques.

M. le Président remercie M. Richard pour l'importante nouvelle qu'il vient de nous apporter et s'associe aux paroles qu'il a prononcées en terminant.

Il donne ensuite la parole à M. A. Brüll.

M. Brüll annonce que le Préfet de la Seine vient, sur un vœu du Conseil municipal, d'instituer une commission ayant pour objet d'ouvrir un concours entre les constructeurs et les inventeurs sur les *meilleurs moyens à employer pour éviter la fumée des fourneaux de générateurs de vapeur.*

Il est inutile d'insister sur l'importance de cette question, on connait les inconvénients de la fumée qui se dégage des nombreuses usines qui se répandent de plus en plus dans Paris, et malgré les recherches déjà faites pour y remédier, aucune solution convenable n'a encore été trouvée.

La commission instituée par le Préfet de la Seine a été recrutée spécialement parmi les Ingénieurs de la Ville de Paris, mais on y a également appelé quelques personnes étrangères à l'Administration.

Son objet est d'établir un concours entre les différents systèmes qui lui auront paru les plus sérieux. Puis la commission décernera des prix en faveur des trois appareils ou systèmes qui auront le mieux réussi.

En outre, la Ville de Paris, qui possède des appareils à vapeur, sera naturellement amenée à prendre un des systèmes primés.

M. Brüll a pensé que ces renseignements devaient intéresser la Société.

M. P. Buquet demande si, dans la commission, on a fait entrer beaucoup de membres de la Société.

M. Brüll répond qu'il est le seul représentant des Ingénieurs Civils, mais que la commission n'est pas très nombreuse.

M. P. Buquet tenait justement à constater qu'il n'y avait qu'un Ingénieur Civil.

M. le Président donne connaissance de la liste des membres de cette commission. Ce sont :

M. Huet, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, président;

M. Brüll, Ingénieur, ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France;

M. Hirsch, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées;

M. Humblot, Inspecteur général des Ponts et Chaussées;

M. Lamouroux, membre du Conseil municipal;

M. Michel Lévy, Ingénieur en chef des mines;

M. de Tavernier, Ingénieur en chef de l'éclairage de la Ville de Paris;

M. Meker, Inspecteur des machines de la Ville de Paris, secrétaire;

M. Monmerqué, Ingénieur des Ponts et Chaussées, secrétaire.

M. Brüll ajoute qu'il ne faut envisager dans cette circonstance que le but poursuivi par la Ville de Paris : il s'agit ici des intérêts mêmes de la Ville de Paris; l'Administration aurait donc été en droit de ne s'adresser qu'à ses Ingénieurs pour trouver la solution.

M. Badois demande si dans le concours on admettra des moteurs n'employant pas de chaudières à vapeur et ne produisant pas de fumée, par exemple des moteurs à gaz.

M. Brüll répond que ce n'est pas dans l'esprit du concours; on doit présenter un appareil destiné au chauffage des générateurs de vapeur au moyen du charbon et ne laissant pas échapper de fumée.

M. le Président remercie M. Brüll et donne la parole à M. E. de Marchéna pour sa communication sur *la Traction mécanique des tramways*.

La communication de M. E. de Marchéna sera reproduite au *Bulletin*.

M. le Président remercie vivement M. E. de Marchéna de sa communication qui représente un travail extrêmement important et a dû exiger de très nombreuses recherches.

En raison du grand intérêt qui s'attache à cette question, M. le Président pense qu'il y aura lieu d'ouvrir la discussion sur ce sujet lorsque le travail de M. E. de Marchéna aura paru au *Bulletin*.

M. P. Regnard demande, sans aborder la discussion, à appeler l'attention de ses Collègues sur un très curieux ouvrage, récemment offert par M. Lencauchez à la Société, ouvrage relatif à la *Traction des véhicules par l'air comprimé,* par Andraud et Tessié du Motay, dont le génie inventif aborda tant de questions importantes. Il ne sera pas sans intérêt de voir dans cet ouvrage, qui remonte aujourd'hui à une cinquantaine d'années, que les auteurs, reconnaissant dès cette époque les inconvénients qui résultent du refroidissement de l'air pendant la détente, avaient déjà proposé le réchauffage préalable de l'air, dont la bouillotte Mékarski a depuis apporté l'heureuse et élégante solution.

M. Badois se réserve, lorsque aura lieu la discussion, de rectifier quelques chiffres relatifs aux moteurs à air comprimé; d'après lui, la dépense en charbon à l'usine centrale par kilomètre-voiture serait inférieure à celle indiquée.

M. le Président rappelle qu'en raison de l'heure avancée, il est préférable de ne pas prolonger la discussion et d'attendre la publication de la communication de M. E. de Marchéna.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. A.-E. Carbonel, E.-J. Charruyer, E.-F. Farcot, A.-J.-M. Farcot, J. Hebert, A. Parvillée, A.-J. Vautier, A. Walbraum, comme membres sociétaires, et de

MM. A.-L. Lanseigne et E. Salmson, comme membres associés.

MM. Ch.-E. Coustenoble, V.-L.-M. Langlois, A. Maurice, H.-J.-F. Poisson, P. Billaud, P.-E. Sarasin, H. Thuile, sont reçus comme membres sociétaires, et

MM. A. Médrado, R.-R.-V. Millot et J. de Sa Pereira, comme membres associés.

La séance est levée à 11 heures un quart.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 20 JUILLET 1894

Présidence de M. Ed. Lippmann, Vice-Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que M. Marmiesse, Ingénieur en chef des Forges et Chantiers de la Méditerranée, au Havre, a été nommé Chevalier de la Légion d'honneur.

M. le Président a reçu de M. Muzet, Commissaire Général de la Section française à l'Exposition d'Anvers, une lettre annonçant pour le 27 juillet l'ouverture des opérations du Jury international des récompenses.

M. le Président donne lecture d'une lettre par laquelle M. le Général de Peslouan, commandant l'École d'application de l'Artillerie et du Génie, à Fontainebleau, l'avise qu'un concours aura lieu au mois de novembre prochain pour l'emploi de *Professeur-adjoint de dessin*, *Chef de l'atelier des dessinateurs* à ladite école.

La copie de l'avis relatif à ce concours est déposée au Secrétariat.

Il est donné lecture d'une lettre de M. E. Lefer. Celui-ci rappelle un travail de M. A. Mallet récemment paru dans le *Bulletin* sur *Les locomotives à adhérence totale pour courbes de petit rayon*, travail au cours duquel il est parlé d'une disposition de machine à six roues à essieux extrêmes convergents accouplés entre eux et dont le principe est attribué à M. Klose. M. Lefer dit qu'il a proposé cette disposition dès 1867 à M. Forquenot, alors Ingénieur à la Compagnie d'Orléans.

M. le Président signale une notice relative au fonctionnement de *l'Association du Musée des photographies documentaires*, qui a fait l'objet d'une communication récente de notre collègue M. Aron.

Tous les documents que des membres de la Société enverront à l'Association du Musée seront parfaitement accueillis.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance ; on la trouvera reproduite à la suite du procès-verbal.

M. le Président fait donner lecture d'une lettre de M. Duroy de Bruignac qui propose de modifier le système d'aiguillage actuellement adopté pour les tramways à chevaux et de remplacer l'aiguille mobile par une sorte d'aiguille fixe, très obtuse, faisant partie d'une espèce de plaque de cœur; l'aiguille obtuse fixe en forme de V et les rails de chaque côté d'elle, formeraient comme deux entrées, une pour chacune des direc-

tions, guidant la roue dans l'une ou l'autre voie, suivant que le cocher appuierait l'attelage d'un côté ou de l'autre.

M. Forest dit que ce système a déjà été appliqué; c'est le *croisement*.

M. Delaunay croit qu'on l'a employé sur le tramway Nord; et notamment au boulevard Bineau, il n'y avait pas d'aiguille.

M. Rey dit qu'avec un semblable appareil l'essieu d'avant prend une voie, et l'essieu d'arrière prend l'autre; c'est en somme un dérailleur.

M. le Président fait observer que le grand vide qui existe au croisement permet aux voitures ordinaires de s'y engager; d'où doit résulter pour elles l'inconvénient de soubresauts et de secousses nuisibles et désagréables.

M. G. Dumont a la parole pour présenter l'analyse de deux ouvrages de MM. Loppé et Bouquet et de MM. Grille et Falconnet; il s'exprime ainsi:

En annonçant le don fait à la Société par MM. Loppé et Bouquet de de leur *Traité théorique et pratique des courants alternatifs*, M. le Président exprimait le désir qu'il fût présenté un compte rendu de cet ouvrage. C'est pour répondre à ce désir que nous demandons la permission d'indiquer succinctement la physionomie d'un livre qui nous paraît devoir présenter un grand intérêt, non seulement pour les électriciens, mais aussi pour les Ingénieurs non spécialistes que l'étude des courants alternatifs ne saurait laisser indifférents, à cause des nombreuses et importantes applications qui en sont faites en ce moment.

Les premières machines électriques industrielles étaient des générateurs de courants alternatifs; elles furent délaissées bientôt au profit des machines à courants continus, dont la dynamo Gramme constitue le type, en raison des facilités d'emploi qu'offre le courant électrique sous la forme continue. Ces machines, qui peuvent servir aussi facilement de générateurs que de moteurs, seraient donc restées sans rivales si la question du transport de l'énergie à des distances de plus en plus grandes ne s'était peu à peu imposée et n'avait rendu indispensable l'emploi des hautes tensions.

Or, au delà de 2 000 à 3 000 volts on éprouve les plus grandes difficultés à construire des dynamos à courants continus, à cause surtout de la présence d'un collecteur. Comme on est conduit à aborder les tensions de 6 000, 8 000, 10 000 volts et même davantage pour réduire les dimensions des lignes conductrices, dont le prix intervient pour une large part dans le devis total d'un transport d'énergie, on est naturellement revenu à l'emploi des alternateurs, qui sont justement dépourvus de collecteurs; comme d'autre part on peut, grâce aux transformateurs, localiser le courant à haute tension sur la ligne, on se trouverait dans les conditions requises pour obtenir une solution très satisfaisante du problème, si les dynamos à courants alternatifs ne présentaient certains inconvénients au point de vue de leur utilisation comme électromoteurs: savoir la mise en route à la main et l'arrêt quand la charge augmente au delà d'une certaine limite. Mais, on est parvenu récemment à éviter ces inconvénients par l'emploi des courants alternatifs diphasés, triphasés et polyphasés, qui paraissent donner la solution complète du problème.

Ceci dit pour faire comprendre l'utilité d'un ouvrage complet sur les courants alternatifs, nous constaterons que le traité de MM. Loppé et Bouquet répond bien au but, puisqu'il réunit et coordonne les données éparses dans les ouvrages et publications techniques les plus récents. Ainsi on trouve, dans un premier chapitre, l'étude du courant variable; dans le deuxième chapitre, l'étude du courant périodique simple. Le chapitre III est consacré aux alternateurs, le chapitre IV aux courants polyphasés et aux divers systèmes de montages des alternateurs ; le chapitre V à la théorie des moteurs à courants alternatifs des divers systèmes. Enfin, les auteurs ont traité dans le chapitre VI de la décharge des condensateurs et dans le chapitre VII et dernier, de l'influence du fer dans les alternateurs.

L'ouvrage est en deux tomes; le premier, seul paru et dont nous nous occupons ici, est essentiellement théorique,mais il ne faut pas s'effrayer de la multiplicité des formules ni de leur longueur, attendu que tous les problèmes pratiques sont résolus sans avoir recours au calcul différentiel et intégral, mais bien à l'aide de la trigonométrie rectiligne. Ces calculs ne sont jamais compliqués et, ce qui est important, les auteurs ont eu grand soin d'indiquer tous les intermédiaires qui les conduisent aux formules finales. Le traité de MM. Loppé et Bouquet est appelé à rendre un véritable service et il y a lieu de les féliciter d'avoir mené à bien un travail aussi ardu.

Je désirerais appeler également l'attention de la Société sur un ouvrage, en cours de publication, intitulé *Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893*, par MM. Grille et Falconnet. Les auteurs, tous deux membres de la Société, lui font hommage des volumes aussitôt parus. Or, parmi ces volumes, s'en trouve un qui est consacré à l'*Électricité industrielle* et qui nous paraît offrir un intérêt particulier pour nos collègues.

On sait, en effet, qu'au point de vue des applications industrielles de l'électricité, l'exposition colombienne permettait de juger assez complètement de l'état actuel de l'industrie électrique aux États-Unis. Or cette industrie a pris, dans ces dernières années, un développement véritablement étonnant.

Les auteurs : MM. Desforges, Rejou, Bloxham et Bouquet donnent des renseignements qui leur ont été communiqués par la « General Electric » et la « Westinghouse Company », les deux plus importantes compagnies américaines d'électricité.

De ces données statistiques, on peut retenir ce fait : le nombre de lampes à incandescence vendues en Amérique, en 1890, était de 4111635; il s'est élevé à 12500000, en 1894.

Les auteurs de la *Revue technique de l'Exposition colombienne* n'ont pas cherché à présenter un tableau complet de l'état actuel de l'industrie électrique aux États-Unis, ce qui les eût entraînés à des développements considérables, mais à offrir aux constructeurs français des documents authentiques qu'ils étaient à même de recueillir, en raison de leurs fonctions à l'Exposition.

Le volume est divisé en deux parties : la première contient la description des dispositions prises pour assurer l'éclairage de l'Exposition et y

réaliser de nombreux transports de force. On y trouve de nombreux renseignements sur les chemins de fer surélevés, trottoirs mobiles à commande électrique, bateaux électriques, sur les fontaines lumineuses, l'organisation des services télégraphiques et téléphoniques; enfin, un résumé des contrats qui définissaient les conditions auxquelles la force motrice et l'éclairage étaient fournis aux exposants; les travaux des jurys, etc. On ne saurait mieux montrer l'importance du service électrique de l'Exposition qu'en rappelant que l'on disposait d'une puissance de plus de 25 000 *ch* à convertir en lumière, alors qu'en 1889, à Paris, le Syndicat international d'électriciens n'avait que 6 000 *ch* pour l'éclairage du Champ de Mars et de l'Esplanade des Invalides.

Dans la deuxième partie, les collaborateurs de la *Revue technique* se sont efforcés de décrire succinctement les Exhibits (mot employé pour désigner l'ensemble des moteurs, appareils, procédés, etc.). Ils passent en revue les divers appareils et machines exposés dans le palais de l'Électricité et donnent d'intéressants détails sur l'une des plus nouvelles applications de l'électricité : « le forgeage et la soudure électriques des métaux ». Les résultats récemment obtenus par la « Thomson Welding Company » et l' « Electrical Forging Company » (procédés Burton et Augell) montrent tout le parti qu'on peut tirer de cette nouvelle branche de l'industrie électrique. Le volume se termine par un bref compte rendu des travaux du Congrès des électriciens et un résumé succinct des communications qui y ont été faites sur l'emploi des moteurs polyphasés et sur le transport de la force à longue distance.

En ce moment, où l'on travaille, en France, toutes ces questions, où les applications de l'électricité se multiplient, et où, enfin, on se préoccupe de donner le plus grand éclat possible à la dernière grande Exposition du siècle, le livre, dont nous venons de donner une analyse, offre un intérêt tout particulier et doit être de la plus grande utilité à tous ceux qui se sont consacrés à l'industrie électrique.

M. le Président remercie M. Dumont de sa communication; grâce à ce travail très complet, les membres de la Société pourront apprécier la valeur des ouvrages offerts par MM. Loppé et Bouquet et par MM. Grille et Falconnet.

L'ordre du jour appelle la communication de M. P. Haag sur l'*Exploitation du Métropolitain de Berlin.*

Avant de donner la parole à M. Haag, M. le Président tient à le remercier de l'honneur qu'il fait à la Société en lui apportant la primeur d'une étude consciencieuse et très détaillée, qu'il a poursuivie sur une question dont l'actualité devient chaque jour plus brûlante et qui intéresse particulièrement les Ingénieurs. M. Haag, qui vient parler aujourd'hui de ce qui se passe à Berlin, au point de vue de l'installation et de l'exploitation du Métropolitain, poursuit, de son côté, un programme très bien défini, qu'il a exposé, il y a deux ans, devant la Société. En consignant et discutant tout ce qui s'est fait dans les autres grandes capitales, et les résultats qu'y ont donnés les différents modes de métropolitains, il désire arriver à présenter, pour le Métropolitain de Paris, un projet dont l'étude

complète échappera aux écoles coûteuses par lesquelles on a dû passer dans les autres grandes cités.

Après avoir remercié M. le Président des paroles aimables qu'il vient de prononcer, M. Haag, au début de sa communication, annonce la publication très prochaine d'une étude complète sur le Métropolitain de Berlin; étude qui doit paraître dans la *Revue Générale des Chemins de fer* et dont quelques exemplaires seront déposés au secrétariat de la Société pour être mis à la disposition de ses membres.

Cette publication, où l'on trouvera les renseignements les plus détaillés sur la *Stadtbahn berlinoise*, permet à M. Haag de réduire l'étendue de sa communication actuelle et de se borner à l'énoncé des résultats les plus importants qu'il présente sous forme de graphiques.

Les deux premiers de ces graphiques donnent, pour les exercices de 1884-1885 à 1891-1892 le nombre des billets délivrés et celui des voyageurs transportés sur l'ensemble du réseau urbain ainsi que la répartition du mouvement des voyageurs entre les trois services : urbain, de banlieue et des grandes lignes.

Le troisième fait voir comment ce trafic se distribue entre les différentes stations du réseau.

Les quatrième et cinquième graphiques renseignent sur les mouvements des recettes et des dépenses et sur l'accroissement des loyers perçus pour la location des arcades.

Enfin le sixième permet de juger de l'influence exercée par le nouveau moyen de transport sur le développement de la population dans Berlin et dans ses faubourgs.

M. Haag accompagne la présentation de ces tableaux de considérations générales sur le développement du trafic de la *Stadtbahn*, sur les services qu'elle rend, sur l'influence qu'elle exerce.

Grâce à des abaissements de tarifs continuels et très importants, le nombre des voyageurs transportés s'est augmenté dans des proportions extrêmement considérables et qui, eu égard au chiffre de la population de Berlin, dépassent de beaucoup les résultats obtenus dans toutes les autres villes.

Les augmentations ont porté principalement sur les voyageurs du service urbain, mais M. Haag fait observer que si cette catégorie de voyageurs est de beaucoup la plus nombreuse, il ne faut pas oublier que les voyageurs de banlieue et des grandes lignes sont ceux qui apportent au réseau général des chemins de fer les plus fortes recettes individuelles ; il y a donc lieu de tenir largement compte de ces derniers éléments de trafic.

L'accroissement énorme de circulation qui s'est produit pendant les derniers exercices a été tel que, malgré des abaissements de tarifs continuels, les recettes brutes n'ont cessé de croître. Mais cet accroissement a nécessité une augmentation considérable dans le nombre des trains et dans les dépenses générales d'exploitation et les recettes nettes s'en sont ressenties.

M. Haag fait observer à ce sujet que l'État, qui dirige l'exploitation de la *Stadtbahn*, s'est moins préoccupé d'en faire une affaire commerciale que de rendre au public et surtout à la population ouvrière la plus

grande somme de services. D'autre part, M. Haag donne les raisons pour lesquelles le chiffre des recettes nettes doit, selon toute vraisemblance, aller en croissant à partir des derniers exercices compris dans l'étude actuelle.

Enfin, il insiste sur l'importance de la location des arcades qui constitue déjà un revenu de près de 600 000 marcs, soit 750 000 *f* par an.

M. Haag termine sa communication par quelques observations relatives au Métropolitain de Paris.

Il condamne le système qui semble prévaloir en ce moment et qui consiste à entamer les travaux sur plusieurs points sans se préoccuper d'établir aucun plan d'ensemble.

A propos de l'Exposition de 1900, après quelques observations générales sur le rôle des expositions au point de vue du développement des villes et de la création des moyens de transport, il indique la possibilité de relier la gare Saint-Lazare à la gare Montparnasse par une ligne d'une construction relativement économique, qui, passant au Champ de Mars, rendrait pendant l'Exposition de très grands services, tout en conservant une utilité incontestable dans l'avenir.

M. P. Villain, dès aujourd'hui et sans attendre la discussion à laquelle pourra donner lieu la communication qu'on vient d'entendre, tient à répondre à l'objection de M. Haag, disant que la ligne de chemin de fer latérale à la Seine ne présenterait que peu d'intérêt pour la circulation parisienne, son parcours, a-t-il prétendu, étant suffisamment desservi par les bateaux et les tramways.

M. P. Villain fait remarquer que la ligne latérale à la Seine, telle qu'il en a indiqué la construction et défini le rôle, est à la fois le prolongement jusqu'au cœur de la capitale des chemins de fer de Vincennes, de Lyon et d'Orléans, du côté de l'Est; des Moulineaux et de Versailles, du côté de l'Ouest; et, en outre, le diamètre de pénétration du chemin de fer de Ceinture. C'est l'application à Paris de la solution que M. Haag a si justement admirée à Berlin.

Les chemins de fer de Vincennes, de Lyon et d'Orléans ont déjà une clientèle de 23 à 24 millions de voyageurs par an, qui s'accroîtrait rapidement le jour où leurs trains aboutiraient à l'Hôtel de Ville, aux Halles ou au Palais-Royal. La ligne des Moulineaux, à laquelle doivent être raccordés incessamment les chemins de fer de Versailles et de Bretagne, deviendra également la voie d'accès d'un grand nombre de voyageurs, lorsqu'elle leur donnera la possibilité de pénétrer jusqu'au centre de Paris. Voilà donc pour le tracé latéral à la Seine, deux groupes importants qui, représentant déjà 25 millions de voyageurs annuels, atteindront rapidement 30 à 40 millions et qui ne sont tributaires, ni des bateaux, ni des tramways de la Seine.

Le chemin de fer de Ceinture, d'un autre côté, coupé en son milieu par la même ligne de la Seine, formerait avec elle deux cercles ou plutôt deux ellipses qui mettraient en relations toute la périphérie urbaine *intra et extra-muros* avec sa région centrale. Là encore, on aurait à recueillir une clientèle considérable qui n'a rien de commun avec celle des bateaux et des tramways de la Seine. Par le seul fait de la construc-

tion de la grande transversale de la *Stadtbahn*, le chemin de fer de Ceinture de Berlin, — de tout point semblable au nôtre, — a vu sextupler son trafic. S'il en était de même à Paris, c'est 120 millions de voyageurs qu'on serait en droit d'espérer de ce côté. En faisant telle réduction que l'on voudra sur ces chiffres, on voit que la ligne de la Seine, loin d'être inutile, présentera, sans doute possible, une extraordinaire activité.

La meilleure preuve, dit M. Villain, que cette solution n'est ni inutile, ni chimérique, ni absurde, c'est que les ateliers de constructions et les établissements de crédit les plus considérables et les plus sérieux acceptent, les uns, de la réaliser; les autres, d'y appliquer leurs capitaux sans subvention ni garantie d'aucune sorte.

M. P. Villain fait d'ailleurs remarquer que les deux circuits fermés que l'on obtiendrait avec l'artère centrale et chacune des moitiés Nord et Sud du chemin de fer de Ceinture représenteront un développement de 24 à 25 *km*, que les trains parcourront en une heure. (La vitesse des trains métropolitains à Londres, New-York et Berlin varie entre 25 et 27 *km* à l'heure.) Et comme sur un circuit fermé on se dirige naturellement dans le sens du moindre parcours, les plus longues distances entre la périphérie et le centre ne représenteront jamais plus d'un demi-parcours et pourront être franchies en une demi-heure au maximum.

La ligne de la Seine, avec son mode de construction en galerie latéralement à jour, présente le triple avantage de ne pas nécessiter d'expropriations, de ne pas présenter de ces longs tunnels si difficiles à aérer et enfin de ne pas défigurer Paris; mais bien plutôt de concourir à son embellissement par sa colonnade du bord de l'eau. Cette solution est économiquement et pratiquement la seule qui permette de parcourir un diamètre entier de la capitale sans manquer d'air ni de jour.

Pour toutes ces raisons, elle s'impose donc, d'après M. Villain, qui espère que l'Exposition de 1900 en déterminera la construction.

M. J. Charton présente une observation au sujet de la communication de M. Haag, en ce qui concerne les tramways. Il admet avec lui qu'en principe il faut les tramways pour les petites distances et les chemins de fer pour les grandes ; mais les conditions se modifient quand il s'agit d'Expositions. S'il est indispensable d'augmenter les moyens de transport existants, ce n'est pas seulement pour amener les visiteurs à l'Exposition, mais c'est aussi, et *surtout*, pour le retour. On se rend à une Exposition à des moments différents de la journée ; le soir, tous les visiteurs s'en retournent à peu près à la même heure. Cela notamment quand il y a des fêtes de nuit ; le 13 octobre 1889, il y a eu 420 000 personnes au Champ de Mars.

M. Charton aurait désiré ardemment voir le Métropolitain se faire à l'occasion de l'Exposition de 1900; mais il pense que, en tout cas, il faut prévoir l'installation de moyens de transport temporaires et spéciaux.

A la solution que propose M. Haag de relier la gare Montparnasse à la gare Saint-Lazare, M. Charton voit l'inconvénient de venir se raccorder sur le chemin de fer de Ceinture, à Neuilly, en un point où la circulation est déjà extrêmement chargée. Quel est le moyen de transport à

adopter? Si l'on se reporte aux chiffres de 1889, on trouve qu'à l'intérieur de l'Exposition le chemin de fer Decauville a transporté près de 7 millions de voyageurs; et qu'au dehors de l'Exposition, sur 32 millions de visiteurs, les bateaux ont eu plus de 13 millions de passagers. Il y a donc là une voie tracée; le public va à la Seine et prend le bateau pour aller et revenir de l'Exposition. Un chemin de fer provisoire le long de la Seine doublerait ce mouvement.

M. P. Haag fait remarquer que, sous le nom de tramways, il comprend tous les systèmes qui ne sont pas de véritables chemins de fer. Il pense qu'un petit chemin de fer comme celui de l'Exposition de 1889 pourrait rendre de grands services, mais il trouverait fâcheux d'établir une véritable ligne de chemin de fer qui ne serait conçue que dans un but uniquement passager. Il fait remarquer, en outre, qu'entre Saint-Lazare et Neuilly la ligne de ceinture pourrait être assez facilement doublée et établie à quadruple voie.

M. Ed. Coignet, qui regrette comme M. Haag de ne pas voir les pouvoirs publics traiter cette question avec une vue d'ensemble, voudrait insister sur certains résultats qui l'ont particulièrement frappé dans la communication de M. Haag. Il dit que le projet de Métropolitain, dû à MM. Vauthier et Deligny, qui semblait devoir satisfaire aux desiderata des Parisiens, après avoir été présenté au Gouvernement n'a point abouti, par suite de l'opposition des grandes Compagnies de chemins de fer; elles ont trouvé que ce projet, étant indépendant d'elles, ne pouvait convenir à Paris. Or, les renseignements que vient de donner M. Haag, relativement aux voyageurs sur le Métropolitain de Berlin, établissent que l'accroissement des voyageurs urbains y prend constamment des proportions considérables, tandis qu'il est beaucoup moindre dans la banlieue et sensiblement nul sur les grandes lignes. Donc on pourrait en tirer cette conclusion — bien simple, — qu'un Métropolitain doit être un Métropolitain. Il y a là une indication très nette; un Métropolitain ne doit pas être fait pour les grandes lignes de chemins de fer.

On a parlé tout à l'heure d'une transversale Est-Ouest; une solution en est offerte par le projet Berlier, qui est actuellement devant les Chambres; dans ce tube souterrain, qui reliera le cours de Vincennes au bois de Boulogne, ne passeront pas les trains des grandes lignes; mais si les Compagnies de chemins de fer ne sont pas satisfaites de cette solution, les Parisiens, du moins, s'en féliciteront, car ils auront enfin un moyen de transport.

M. P. Villain s'excuse de rentrer dans la discussion; mais le projet Berlier, dont M. Coignet vient de parler, — souterrain continu de 11 *km* suivant un parcours parallèle et presque identique à la ligne de la Seine, entre Vincennes et le bois de Boulogne, — est une concurrence trop directe à cette dernière pour que l'on construise simultanément les deux. D'ailleurs, il ne peut pas y avoir place pour les deux lignes dans la région centrale de Paris.

M. Villain fait remarquer qu'il n'y a au monde qu'un seul exemple de tramway tubulaire souterrain. Il a été construit à Londres pour réunir à la Cité, en passant sous la Tamise, les quartiers de la rive opposée, en

un point où les nécessités de la navigation empêchaient de construire un pont.

Sans vitesse et sans puissance, le *Subway* de Londres, après bientôt quatre ans de fonctionnement, représente moins de 1 0/0 de la circulation de cette ville; il a transporté exactement 6 239 000 voyageurs en 1893; il a tout juste l'importance de notre ligne d'omnibus Wagram-Bastille.

Dans son parcours le long des rues Saint-Antoine et de Rivoli, le tubulaire de Paris serait établi au milieu de la nappe d'infiltration. Chaque anneau du tube est formé de 15 plaques de fonte boulonnées avec interposition de minces baguettes de bois blanc formant joint. Les anneaux sont de même assemblés avec interposition de joints en bois blanc, que les insectes et la désagrégation de la matière feront rapidement disparaître. Comment combattra-t-on l'invasion des eaux? On ne le dit pas; et de même, ajoute M. Villain, on n'a rien prévu pour la ventilation de ce long tube de 11 *km* dont l'air, plus froid et plus lourd que l'air extérieur, ne pourrait cependant être renouvelé que par des moyens mécaniques. Le projet se présente, d'après M. Villain, avec le caractère d'incertitude le plus grand.

Comment admettre d'ailleurs, pour desservir un courant de circulation aussi considérable que celui de la rue de Rivoli, un chemin de fer à voie étroite, sans capacité, sans vitesse et sans raccordement possible, ni maintenant ni plus tard, avec les autres chemins de fer?

Pour rester fidèle à la voie normale et éviter le plus possible les longs tunnels, M. Villain préconise, à l'encontre du tramway tubulaire, la ligne de la Seine qui, avec une même dépense, présente l'avantage d'une puissance cinq ou six fois plus grande et d'une aération presque continue. Cette ligne suit le long des quais de rive droite le parcours même des tramways actuels, dirigés de Vincennes et de Passy vers le centre de Paris.

M. Ed. Coignet dit qu'il a parlé sur cette question simplement en Parisien. Il ne prétend pas que le projet de M. Berlier soit parfait, mais il fait remarquer que ce projet n'est pas arrivé où il en est sans avoir été examiné par les Ingénieurs compétents de la Ville de Paris; et si ceux dont la mission spéciale est d'assurer l'assainissement de la ville estiment que la solution est bonne et ne peut gêner le fonctionnement des égouts, il ne se croit pas en droit de se montrer plus difficile qu'eux. Quant à la ventilation, il trouve inadmissible de penser qu'on n'y a pas songé.

Parce que les Compagnies de chemins de fer ont échoué dans leurs projets, on ne voit pas pourquoi elles s'opposeraient à l'installation d'un Métropolitain urbain. Quel avantage peuvent-elles avoir à empêcher les habitants de Paris et ceux de la banlieue de se déplacer dans la ville tout entière?

En résumé, si le tube Berlier n'est pas l'idéal, il donnera quelque chose, tandis qu'actuellement on n'a rien du tout. Pourquoi donc s'opposer à une installation pour laquelle les demandeurs en concession ne sollicitent aucune garantie d'intérêt?

M. P. Villain dit que son projet se présente également dans ces dernières conditions.

M. J.-H. Delaunay insiste sur ce que le tube Berlier ne prétend pas du tout être un chemin de fer; c'est un tramway qui doublera ou triplera la circulation, et cela sans rien modifier aux modes de transport actuels.

M. le Président craint qu'on ne risque beaucoup de faire des écoles du genre de celles signalées dans la communication de M. Haag, qui a rappelé que dans de grandes capitales on a dû défaire et refaire, à grands frais, des travaux antérieurs. Il croit que c'est dans une discussion de projets comme ceux de M. Villain et de M. Haag, qu'on peut trouver la ligne transversale à choisir et arriver ainsi à la solution du Métropolitain qui doit assainir et embellir Paris.

M. D.-A. Casalonga en venant entendre M. Haag ne pensait pas que la discussion quitterait le Métropolitain de Berlin.

Puisque la question de l'éventuel Métropolitain parisien s'est réouverte, il entretiendra un instant la Société d'un avant-projet que M. Faure et lui ont eu la pensée de présenter à la critique des Ingénieurs, et dont il se bornera à esquisser simplement l'idée primordiale.

MM. Faure et Casalonga proposent l'installation, en sous-sol profond, partout où cela est nécessaire, d'un tube en fonte étanche et résistant, parfaitement éclairé et aéré; dans ce tube sont disposées, suivant un système proposé en 1889, et essayé à l'Exposition de Chicago, un certain nombre de plates-formes continues mobiles, quatre, par exemple, de niveau entre elles et avec des quais fixes d'embarquement et de débarquement, disposés de distance en distance. La vitesse de la première plate-forme est d'environ 2 *km* seulement à l'heure, la moitié de la vitesse de l'homme au pas. Cette vitesse est de 5 *km* pour la deuxième; puis elle passe à 9 et enfin, sur la quatrième plate-forme, à 14 *km*. Des sièges sont disposés, de distance en distance, sur chaque plate-forme, ainsi que de petites colonnettes à cordeau, pouvant servir de points d'appui aux voyageurs pour passer, en toute assurance, d'une plate-forme à l'autre, quelque timorés qu'ils puissent être.

Chaque plate-forme roule sur des rouleaux et est fractionnée par sections; le mouvement est fourni par des dynamos, qu'alimentent des usines centrales.

M. Casalonga dit que la marche exacte des chemins parallèles continus est une question mécanique très délicate qui demande à être traitée et résolue d'une manière parfaite. Il ajoute, qu'au premier abord, le système qu'il vient d'esquisser cause un certain étonnement, mêlé à un sentiment de méfiance, mais qu'une étude plus attentive y découvre de réels avantages.

La construction peut se faire non seulement sans changer en rien l'aspect de Paris, mais même sans que Paris s'en doute.

L'encombrement dont parlait si justement tout à l'heure M. Charton n'est pas à craindre avec un tel système, dont la puissance de transport est considérable; il n'y a à redouter non plus aucune des intempéries de l'air. Au lieu d'un réduit sombre, le tunnel serait une sorte de théâtre où l'on est en matinée. La perception du prix peut se faire automatiquement, et les frais d'exploitation y sont réduits presque à ceux inhérents au développement de la puissance motrice. Pas de mise en

train, pas d'arrêts par suite, pas de perte de force vive; pas d'attentes, pas de risques d'accidents.

Ce nouveau mode de transport, dit M. Casalonga, avantageux par sa nature et par ses dispositions, ne gêne aucun des moyens de transport actuels, et il n'en est pas non plus gêné.

M. le Président veut examiner un point fondamental dans ce projet. C'est la position du tube qui doit être descendu à une grande profondeur; il prévoit de grands obstacles et de grands inconvénients provenant particulièrement des nappes souterraines contre lesquelles il faudra lutter. S'il fallait les épuiser on priverait nombre d'usines et de propriétés de leurs moyens d'alimentation.

M. D.-A. Casalonga tient grand compte des observations de M. le Président relativement aux nappes souterraines. Il dit seulement que M. Faure et lui se sont déjà préoccupés de cette question et ont admis que le travail se ferait progressivement d'arrière en avant à l'air comprimé.

MM. J.-H. Delaunay et Ed. Coignet rappellent que le tube de M. Berlier vient de traverser la Seine à Asnières sur une longueur de 300 *m*, et cela dans les plus mauvais terrains et sans aucune difficulté.

M. le Président propose d'ajourner la suite de la discussion après l'impression du travail de M. Haag, qu'il remercie vivement de sa communication. Dès maintenant il retient un vœu. C'est que pour l'Exposition de 1900 on organise des systèmes de circulation nouveaux, soit qu'on crée un Métropolitain complet ou partiel, soit qu'on marche dans la voie qu'a indiquée tout à l'heure M. Charton.

Il est donné lecture des demandes d'admission de MM. G. M.-E. Cavalier de Mocomble, P. Dorémieux, P.-H. Ferrand, F. Havequez, U. Lassia, L.-R. Levy, A. de Marchena, Ch. Rosambert, J. de Sa é Silva, G.-P. Thomas, comme membres sociétaires, et de

MM. L.-A. Bohain et Hachette comme membre associés.

MM. A.-E. Carbonel, E.-J. Charruyer, E.-F.-M. Farcot fils, A.-J.-M. Farcot, J. Hébert, A. Parvillée, A.-J.-A. Vautier, A. Walbaum sont reçus comme membres sociétaires et

MM. A.-L. Lanseigne et E. Salmson comme membres associés.

La séance est levée à 11 heures.

NOUVEAU SYSTÈME
DE
FOYER FUMIVORE
APPLIQUÉ
aux Fours industriels, Chaudières et Foyers domestiques

PAR

M. J^h HINSTIN

Le but que je me suis proposé d'atteindre est de résoudre le problème de la combustion rationnelle et complète d'où devait résulter la fumivorité. Le moyen employé consiste à obtenir que les produits gazeux d'une combustion incomplète et l'air destiné à les brûler se rencontrent, avant de s'échapper dans l'atmosphère, en un point de l'appareil où la température soit assez élevée pour parachever leur combustion. Dans les appareils antérieurement proposés, la rencontre ne se fait qu'au delà de ce point. Le dispositif pratique que j'ai adopté pour obtenir ce résultat au moyen de carneaux en terre réfractaire, qui assurent la direction et l'échauffement des courants, et de registres qui règlent la proportion des mélanges gazeux, varie selon la destination de l'appareil. Lorsque je dispose d'un espace suffisant, comme dans le cas des foyers industriels, le charbon ou le coke parcourt successivement, sous l'action de sa pesanteur, trois régions que j'appelle respectivement: avant-foyer, foyer, et arrière-foyer. La combustion du coke, qui s'achève dans cette dernière région, assure en même temps celle du mélange de l'air, appelé par un système de réglage approprié, et de l'oxyde de carbone qui s'est formé dans le foyer.

Lorsque, au contraire, l'espace me fait défaut, comme dans les cheminées d'appartement, je combine ensemble l'avant et l'arrière-foyer, ou je les remplace par un dispositif spécial.

La première expérimentation de mon système a été faite aux Colettes (Allier), sur un four à briques réfractaires dont je désirais élever la température de cuisson et augmenter le rendement. Non seulement j'ai obtenu ce résultat, mais encore une économie de 34 0/0 sur la consommation du combustible.

Ce four est employé depuis deux ans. Il a été visité, il y a plus de dix-huit mois, par M. Friedel, Ingénieur des mines de la circonscription, puis par différents ingénieurs et spécialistes, et enfin au mois de décembre dernier par MM. les colonels Coultcher et Herjeu, du Génie de l'armée roumaine.

L'appareil est d'une telle docilité, au point de vue de la fumivorité que j'ai pu, devant ces messieurs, produire ou supprimer la fumée, à volonté, par le réglage des registres d'arrivée de l'air, ou la suppression du réglage. J'ai obtenu les mêmes résultats sur un fourneau de cuisine fumivore, de mon système, au grand étonnement de l'ouvrier même, par les mains duquel ce foyer avait été construit, sur mes indications. Enfin, des appareils de chauffage domestique établis sur le même principe fonctionnent dans mon propre appartement.

J'ai étudié des dispositifs spéciaux pour les appareils ci-après désignés :

PREMIER GROUPE

Chauffage des fours industriels.

Four à briques réfractaires;
Four à porcelaine;
Four à distiller;
Four crématoire.

DEUXIÈME GROUPE

Chaudières à vapeur.

Chaudière à bouilleurs;
Chaudière à foyer intérieur;
Chaudière de locomotive.

TROISIÈME GROUPE

Chauffage domestique.

Poêle à feu continu;
Poêle calorifère;
Fourneau de cuisine;
Poêle domestique;
Grille fixe pour cheminée d'appartement;
Calorifère mobile, applicable aux cheminées d'appartement;
Garniture intérieure de cheminée d'appartement.

Je résume ici successivement la description de quelques-uns de ces appareils. — Le système est breveté.

PREMIER GROUPE

Chauffage des fours industriels

1° Four a briques réfractaires

Le foyer des Colettes est représenté sur la planche 113, figures 1 et 2. La figure 1 est une coupe verticale par l'axe, et la figure 2 en est l'élévation.

Le foyer se compose de trois parties, jouant chacune un rôle spécial. Le combustible passe de lui-même et d'une façon continue sur chacune d'elles.

Je désigne chacune des trois parties, d'après leur situation respective, par les noms de :

1° *L'avant-foyer*, ou la capacité dans laquelle on charge le combustible frais, et dans laquelle se fait la distillation ;

2° *Le foyer proprement dit*, celle où s'entretient la combustion du coke ;

Et 3° *L'arrière-foyer*, celle où elle s'achève.

L'avant-foyer se compose de deux grilles entre lesquelles le combustible descend. La première est désignée par les lettres GA ; la contre-grille est désignée par les lettres CA.

Une porte de chargement P, munie d'un registre *r* pour l'introduction de l'air, est placée à la partie supérieure de l'avant-foyer.

La quantité d'air, qui traverse le combustible placé entre les deux grilles, est également réglée par un registre *r*A placé dans une porte de visite de l'avant-foyer ; cette porte ferme la chambre d'entrée d'air, en avant.

Une chambre de départ des produits gazeux, qui ont traversé *l'avant-foyer*, est comprise entre la *contre-grille* CA et la voûte VA de l'avant-foyer ; cette dernière voûte se prolonge jusqu'au-dessus du foyer proprement dit, comme nous l'expliquerons plus loin.

Le foyer proprement dit se compose d'une grille inclinée GF placée au-dessus d'un cendrier ordinaire, dans lequel l'admission de l'air est réglée par un registre *r*F placé sur la porte qui ferme le cendrier.

Le combustible descendant de l'avant-foyer glisse de lui-même en couche forte sur la grille GF.

Une porte *p*, qui permet de faire facilement l'allumage et le nettoyage, sert aussi de porte de chargement du combustible, lorsqu'on ne veut faire qu'un petit feu.

L'arrière-foyer est constitué par une grille GR, inclinée en sens inverse de la précédente, et qui coupe le combustible en biseau, de telle sorte que l'épaisseur du combustible aille toujours en diminuant, depuis le foyer proprement dit jusqu'au mur d'autel, où cette épaisseur est nulle.

Une plaque mobile S sépare la zone d'appel inférieure de l'arrière-foyer de celle du foyer proprement dit. Elle a pour objet d'empêcher l'entrée libre de l'air, qui produirait un refroidissement de l'arrière-foyer, et permet ainsi d'y maintenir une haute température.

Une conduite d'air K, dont l'extrémité, à portée de la main du chauffeur, est munie d'un registre *r*R, sert à introduire une quantité d'air réglée au-dessous de la grille de l'arrière-foyer.

Une voûte VR concentre la chaleur sur cet arrière-foyer.

Le mur d'autel MR forme le dernier élément constitutif de l'arrière-foyer; son extrémité M'R' est disposée par rapport à l'extrémité V'A' de la voûte VA, de telle sorte que deux couches d'air, représentées par des traits pointillés, l'une, longeant la voûte VA, l'autre, longeant le mur d'autel MR, étant appelées par le tirage, soient obligées de se rencontrer.

Dans ces conditions, si nous considérons l'ensemble du foyer et des trois grilles placées bout à bout, nous pouvons envisager le combustible comme reposant, bien qu'en épaisseurs variables, sur une seule et même grille, qu'il parcourt d'un mouvement continu.

Suivons maintenant le combustible, et voyons ce qu'il devient dans les trois parties du foyer dont nous expliquerons ainsi le fonctionnement.

Le charbon est chargé à la brouette, par la porte supérieure P de l'avant-foyer.

Au fur et à mesure qu'il descend, il s'échauffe et distille ses gaz sous l'action du coke incandescent placé à la base. En même temps, l'air qui arrive en quantité réglée par les registres *r*P et *r*A traverse le combustible. Les gaz distillés se trouvent ainsi, au moment de leur formation, en présence de la quantité d'air nécessaire à leur combustion.

Le mélange se fait par le renversement qui a lieu dans l'espace compris entre la contre-grille CA et la voûte VA, sous l'action du tirage.

Le mélange intime des gaz comburants et des gaz combustibles devant, à la sortie de l'avant-foyer, passer au-dessus du charbon

incandescent placé sur la grille du foyer proprement dit, la combustion complète s'opère de toute nécessité.

La caractéristique de cette première partie du foyer est de forcer le mélange intime des gaz distillés et de l'air à s'effectuer avant qu'il ne passe au-dessus du coke incandescent, ce qui permet de réaliser la combustion rationnelle des gaz distillés.

On remarquera que, jusqu'ici, on n'avait opéré les renversements des produits de la combustion qu'après leur sortie du foyer. Le mélange ne trouvait donc plus le coke incandescent nécessaire pour le brûler, et les deux courants de gaz distillés et d'air, qui avaient suivi des directions parallèles (au moment où ils passaient au-dessus du coke incandescent), n'étant pas mélangés, n'avaient pu se brûler.

Si nous continuons à suivre le charbon, nous le voyons arriver de lui-même, dans le foyer proprement dit, à l'état de coke incandescent.

Ce foyer est disposé de telle sorte que le combustible se trouve placé sur la grille en forte épaisseur. Il forme une grande masse centrale incandescente qui entretient la chaleur dans tout l'ensemble du foyer.

Nous venons d'indiquer sa première utilité, consistant à brûler les gaz distillés, après avoir servi à chauffer le charbon frais soumis à la distillation dans l'avant-foyer. Il ne joue pas un rôle moins important à l'égard de l'arrière-foyer.

Le coke incandescent, coupé en biseau par la grille de l'arrière-foyer, se présente en couche mince. Or, on sait que le coke ne pourrait brûler en couche mince, s'il n'était à porté une haute température ; c'est la masse incandescente du foyer proprement dit qui remplit cette fonction.

Pour brûler le coke dans ces conditions rationnellement en CO^2, nous devons, en outre, introduire sous la grille une quantité d'air en excès.

Mais si nous laissions l'air entrer librement, il arriverait en si grande abondance, en raison de la moindre résistance de la couche de coke dans l'arrière-foyer, qu'il produirait un refroidissement, ce qui irait à l'encontre de ce que nous venons d'expliquer.

Nous parons à cette difficulté en employant la plaque de séparation S, qui isole l'arrière-foyer, et en établissant une entrée d'air spéciale K, munie d'un registre *r*R, qui permet d'introduire une quantité d'air en excès, mais réglée, sous l'influence de laquelle la combustion rationnelle du coke devient possible.

Est-il besoin de faire remarquer que cette combustion rationnelle du coke est obtenue, là encore, par des moyens simples, mais cependant inusités, consistant dans l'action simultanée et combinée des éléments suivants : 1° la plaque de séparation, qui empêche le refroidissement de l'arrière-foyer ; 2° la masse incandescente du milieu, qui le maintient à haute température ; 3° le réglage de l'air, qui traverse le coke incandescent placé en couche mince sur la grille de l'arrière-foyer, et 4° la voûte, qui concentre la chaleur dans *l'arrière-foyer*.

La combustion des gaz et du coke étant ainsi faite rationnellement, le charbon est-il complètement brûlé ? Évidemment non, car il n'est pas possible que le charbon ait pu être distillé en totalité dans l'avant-foyer, quoi qu'il advienne, notamment lorsque le chauffeur, pour une raison quelconque, n'a pas chargé régulièrement. Donc nous aurons plus ou moins de gaz carburés qui auront échappé à une combustion complète et, dans certains cas, plus ou moins de fumée.

D'autre part, nous avons expliqué que nous laissions une forte masse de coke incandescent sur la grille du foyer proprement dit. Il s'en dégage donc forcément une certaine quantité d'oxyde de carbone, comme sur toute autre grille ordinaire, fortement chargée.

Nous allons voir comment les mêmes organes, qui ont produit une première combustion rationnelle, opèrent ensuite, d'eux-mêmes, une seconde combustion complète des produits combustibles, qui ont échappé à la première.

Nous avons précédemment expliqué que les deux parties VA de l'avant-foyer, et MR de l'arrière-foyer, étaient prolongées de telle sorte, que leurs extrémités V'A' et M'R' déterminent la rencontre de deux couches d'air qui les suivent, appelées par le tirage.

Nous introduisons par la porte P une quantité d'air réglée. Nous nous servons à cet effet de l'ouverture même de la porte, lorsqu'elle est construite à coulisse ; dans le cas contraire, on se servirait d'un registre spécial. Cette quantité d'air s'étale en couche mince sous la voûte d'avant-foyer et s'y réchauffe en s'avançant sous l'action du tirage ; elle est représentée sur le dessin par un pointillé, désigné par les lettres AA.

D'autre part, dans l'arrière-foyer, une lame d'air passe nécessairement au point où l'épaisseur de combustible étant nulle, la résistance est également nulle. Elle se réchauffe contre le mur d'autel. En avançant sous l'action du tirage, elle forme la lame d'air chaud

représentée par un pointillé, et désignée par les lettres AR sur le dessin.

Ces lames d'air chaud AA AR, en se rencontrant, serrent entre elles tous les produits de la première combustion, en un point très chaud du foyer, où la voûte VR concentre la chaleur, et où la température est suffisante pour déterminer l'inflammation. C'est là que se termine la combustion, là que se fait la fumivorité absolue. A partir de là, il ne reste ni fumée, ni gaz combustible dans les divers produits de la combustion, comme l'indique l'expérience que j'ai citée en commençant.

Il me reste à signaler quelques particularités de construction :

1° La grille de l'avant-foyer est composée de barreaux plats, inclinés, mobiles, placés dans un cadre d'où on peut les retirer facilement; le cadre est creusé à sa partie supérieure, afin de recevoir un petit courant d'eau qui diminue la température de la façade;

2° La contre-grille de l'avant-foyer est formée de parpaings réfractaires, appareillés en deux sens : pour résister à la poussée du combustible d'une part, et à leur propre poids d'autre part. Ils ont donné d'excellents résultats. Ces parpaings font en quelque sorte partie intégrante de la maçonnerie du foyer, qu'ils permettent, grâce à leur forme, de construire avec une très grande facilité. Ils ont remplacé des barreaux réfractaires d'une seule pièce, qui avaient été rapidement tordus et fendus;

3° Au point de rencontre des deux couches d'air chaud dont j'ai parlé, et dont j'ai expliqué la fonction, nous avons dû remplacer les briques par de grosses pièces spéciales, très réfractaires, à cause de l'énorme température développée sur ce point.

Cette observation est très intéressante à signaler, car elle fournit une preuve de la théorie de la combustion complète, par une seconde combustion, telle que je viens d'avoir l'honneur de l'exposer ; mais elle doit aussi nous mettre en garde contre l'effet de chalumeau qui se produit en ce point, et qu'il est d'ailleurs facile d'éviter lorsque l'on est prévenu;

4° La haute température développée par ce foyer nous a fait prendre quelques précautions pour la conservation des organes. Nous avons établi de chaque côté du foyer des chambres d'air, représentées dans la figure 2 et indiquées par les lettres *Ch*. Nous faisons déboucher les pièces métalliques dans ces deux chambres, et em-

ployons, autant que possible, des pièces creuses à travers lesquelles un courant d'air s'établit, d'une chambre à l'autre ;

5° La grille de l'arrière-foyer est mobile autour d'un axe. Une des chambres d'air latérales est utilisée pour y placer le levier de manœuvre de cette grille. Celle-ci, indépendamment du rôle qu'elle joue dans la combustion rationnelle du coke, permet d'enlever facilement le mâchefer, au fur et à mesure qu'il se forme, et d'éviter les gros décrassages qui produisent de si grands refroidissements ;

6° Pour les raisons que j'ai expliquées précédemment, il est nécessaire de maintenir la plaque S toujours fermée, et de ne l'ouvrir pour le nettoyage que pendant le moins de temps possible.

On aura aussi la précaution de tenir le cendrier rempli d'eau.

2° Application aux fours a porcelaines et faïences fines

Notre collègue, M. C. de Renty, qui est un ingénieur céramiste très distingué, a bien voulu faire l'application de mon système aux fours qu'il construit.

Il a eu l'obligeance de m'envoyer, pour cette conférence, les plans que je suis heureux de pouvoir vous présenter (*Pl. 113, fig. 3 à 6*) et qui contiennent, vous le remarquerez, de très heureuses dispositions.

Je vais vous donner connaissance de la notice qui accompagnait les plans et qui contient elle-même, sur le four à porcelaines et à faïence, des renseignements de nature à intéresser, en particulier, ceux de nos collègues qui s'occupent des questions céramiques.

« Les fours employés pour cuire les produits céramiques ont généralement la forme d'un cylindre vertical, garni de nombreux foyers, latéralement. Cette disposition permet d'obtenir une cuisson régulière dans des fours d'un volume considérable ; cependant, au delà de 150 m^3 intérieurs, il est très difficile d'arriver à une température uniforme. Si les céramistes ont été conduits à établir des fours d'une si grande dimension, malgré toutes les difficultés que présente l'emploi de tels appareils, c'est que, pendant longtemps, le chauffage s'est fait à flamme directe ; dans ces conditions, il y a un intérêt considérable à se servir de fours aussi grands que possible, ainsi que moi-même je l'ai constaté pour la cuisson du biscuit de la faïence fine. J'ai trouvé que, pour cuire

dans ces fours, à flamme directe, la consommation de combustible était par mètre cube de four, de :

144 *kg*	de houille dans un four de		32 m^3
130 *kg*	—	—	52 m^3
120 *kg*	—	—	75 m^3
107 *kg*	—	—	117 m^3

» Aussi, à conditions égales, l'emploi d'un four de 117 m^3 procure une économie de 25 0/0 sur un four de seulement 32 m^3.

» Mais depuis que l'usage des fours à flamme renversée s'est généralisé, l'économie de combustible provenant de la différence du volume des fours est à peine sensible; il est donc préférable d'avoir des appareils d'une conduite facile et ne dépassant pas 100 m^3. C'est un modèle très répandu actuellement; il est muni de dix foyers ou alandiers, et sa consommation moyenne, par mètre cube, est de 95 *kg* de houille pour la cuisson du biscuit de faïence fine. Le dessin de l'alandier que nous vous soumettons a été étudié pour un de ces fours; mais afin de bien se rendre compte des avantages que présente ce foyer à combustion rationnelle et complète, il est nécessaire de rappeler brièvement les difficultés que l'on éprouve dans la conduite d'un four à produits céramiques.

» Toute cuisson céramique se divise en deux périodes : celle qu'on appelle le petit feu, et celle qu'on nomme le grand feu.

» Dans le petit feu, le combustible brûle en présence d'un grand excès d'air, car il est indispensable de chauffer avec ménagement les objets à cuire. Au bout d'un temps, variable avec la nature du produit, lorsque le four est porté au rouge sombre, à peine visible, on commence le grand feu.

» A ce moment, il faut régler l'introduction de l'air avec mesure; dans quelques cas, l'atmosphère du four doit être rendue réductrice, pour obtenir certaines couleurs, ou pour blanchir les produits, en ramenant les oxydes de fer à l'état de protoxyde.

» Pendant toute la durée de la cuisson, il faut mettre beaucoup de soin à ne pas laisser gagner un excès de température dans une partie du four, car cet excès va toujours en croissant, par l'augmentation du tirage, et il devient presque impossible, au bout d'un certain temps, de ramener cette partie à la température des autres.

» Il faut également éviter que la partie supérieure du four ne s'échauffe trop rapidement, et pour cela il est nécessaire de dimi-

nuer la longueur de la flamme, en ouvrant la porte de chargement du combustible, sans cependant laisser entrer trop d'air.

» Or, comme les fours actuels ne sont munis d'aucun appareil de réglage, il est difficile d'obtenir une cuisson régulière; c'est ce qui explique la grande quantité de marchandise que l'on est obligé de cuire deux fois, quand elle n'est pas complètement détériorée.

» Avec le foyer de M. J[h] Hinstin, toutes les opérations délicates que nous venons d'énumérer sont rendues faciles, et si pendant les premières cuissons on a le soin d'analyser les produits de la combustion, rien ne sera plus aisé, pour chaque four, que de connaître l'ouverture à donner aux différents orifices d'entrée de l'air, pour modifier, dans un rapport déterminé, la nature de l'atmosphère du four.

» Dans l'établissement des alandiers pour fours céramiques, nous avons cherché à conserver la forme qui leur est habituellement donnée, tout en leur appliquant les principes du foyer à combustion rationnelle.

» La porte de chargement du combustible est placée à la partie supérieure du foyer, et cette porte est munie d'un volet mobile, qui permet d'introduire l'air en quantité réglée.

» La grille de l'avant-foyer est composée de pièces réfractaires, pour éviter le rayonnement de la chaleur dans la halle des fours. Le foyer proprement dit, avec sa porte d'allumage pour le petit feu, et l'arrière-foyer, n'offrent rien de particulier, si ce n'est que le cendrier est complètement en dessous du niveau du sol de la halle. Une fosse, recouverte d'une grille mobile, permet d'enlever les cendres à la fin de chaque cuisson.

» Pour répartir uniformément la température dans un four de 100 m^3 nous avons dit que l'on plaçait dix alandiers circulairement. En vue de diminuer les frais de premier établissement et d'entretien, ainsi que le travail de surveillance des chauffeurs, nous ne plaçons que cinq alandiers, tout en conservant pour l'entrée des produits de la combustion dix ouvertures espacées régulièrement dans l'intérieur du four, sans compter le carneau qui dirige une partie de la flamme au centre du four.

» Le prix de la construction d'un four céramique de 100 m^3 est d'environ 18 000 *f*. Le supplément de dépense occasionné par l'établissement des cinq foyers système J[h] Hinstin, peut être estimé à 4 500 *f* environ. Les avantages que l'on en retirera seront-ils en rapport avec cette dépense ?

» Nous prendrons pour exemple la cuisson du biscuit de la

faïence fine, qui cuit à une température intermédiaire entre celle de la cuisson du vernis, et celle de la cuisson de l'émail de porcelaine.

» Avec les foyers actuels, la consommation est en moyenne de 95 *kg* de houille, par mètre cube, qui, à raison de 20 *f* les 1 000 *kg*, représente une dépense de 1,90 *f*.

» L'économie résultant de l'emploi du foyer à combustion rationnelle proviendra de deux causes différentes :

» 1° De l'économie sur l'emploi du combustible, 10 0/0 au minimum, soit. . . . . 0,19 *f*

» 2° De la diminution des marchandises en rebut, estimée. . . . . 1 »

» Total des économies par mètre cube. . . . 1,19 *f*

soit, par four, 119 *f*; et comme, en moyenne, on fait 40 fournées par an, l'économie totale sera de 4 760 *f*.

» Ainsi donc, la première année, la dépense supplémentaire est, sinon totalement, du moins presque amortie.

» Nous pensons donc que l'industrie céramique, qui traverse une phase assez critique, aurait tout intérêt à utiliser les procédés de chauffage de M. J[h] Hinstin. »

3° Application a un four a gaz

Dans le groupe des foyers industriels, je mentionnerai encore l'application au foyer d'un four à gaz. (Voir le mémoire déposé à la Société des Ingénieurs Civils et la planche 113, figures 7 à 10).

Le rendement du four est directement proportionnel au nombre des calories utilisées, tirées de la combustion du coke.

Il est donc beaucoup plus grand pour le coke brûlé en acide carbonique que pour celui qui serait brûlé en oxyde de carbone.

Je rappelle à ce propos que, d'après les tables publiées par Berthelot, le poids atomique du carbone étant 12, celui-ci, brûlé en CO^2, dégage 94 000 calories; tandis que s'il est brûlé en CO, il ne dégage que 25 800 calories; d'où il résulte que le nombre de calories dégagées par la combustion de l'oxyde de carbone produite par le même poids atomique de carbone s'élève au chiffre de 68 200.

4° Application a un four crématoire.

L'enchainement naturel des idées devait me conduire à penser que la fumivorité et la combustion intégrale que j'obtenais avec

mon système de foyer, trouveraient un emploi utile dans un four crématoire, en évitant les graves inconvénients que doivent supporter aujourd'hui ceux qui assistent à une incinération.

Si cette opération pouvait se faire dans des conditions particulièrement rapides, non seulement sans fumée et sans odeur, mais encore en ne froissant aucun des sentiments auxquels se rattachent nos mœurs et nos traditions;

Si le monument crématoire, de style plutôt agréable que funèbre, pouvait se placer sans inconvénient au centre même de Paris (comme par exemple dans le jardin du Palais-Royal aujourd'hui délaissé), peut-être le progrès de la crémation, s'il est vrai que ce soit un progrès, pourrait-il être plus facilement réalisé. C'est, du moins, ce que j'ai tenté d'obtenir, et je vais vous exposer rapidement le projet, ou plus exactement l'avant-projet, que j'ai remis à M. Bouvard, Inspecteur général des services d'architecture de la Ville de Paris.

La figure 11 de la planche 113 vous représente la coupe verticale par l'axe du foyer et du four crématoire (voir les figures 11 à 19).

Le foyer ne diffère presque pas de celui que je viens de décrire; nous y retrouvons les trois parties essentielles : l'avant-foyer, le foyer proprement dit, et l'arrière-foyer; les mêmes grilles que dans le premier exemple, les chambres d'air latérales et les différents appareils de manœuvre.

Mais ce qu'il présente de particulier, c'est la combinaison du foyer avec le four, qui permet d'obtenir la combustion rationnelle et intégrale du corps, en même temps que celle du combustible.

Le foyer, qui dans l'application précédente était destiné à chauffer à 1 800° un four de 70 m^3 chargé de 50 000 *kg* de produits, est le même qui s'applique, dans mon projet, à un four crématoire de 6 m^3 environ, qui ne contient qu'une sorte de moufle dans lequel doit se faire l'incinération.

Dans ces conditions, l'opération devra se faire avec une très grande énergie, par conséquent avec rapidité.

Dans le moufle se trouve placée une dalle réfractaire mobile *d*, de forme courbe, sous laquelle les flammes peuvent circuler. Cette dalle est destinée à recevoir le corps; on peut la recouvrir, au besoin, d'un drap d'amiante.

Le foyer envoie directement ses flammes au-dessus du moufle par le carneau *e*.

Celui-ci se prolonge par les carneaux *f*, qui remontent en entou-

rant le moufle et aboutissent à un conduit *g* recouvrant toute la partie supérieure du moufle. Ce carneau est mis en communication directe avec le conduit de la cheminée en *h*, par un registre *m*. D'autre part, un registre *p*, placé sur le devant de la sole du moufle, permet au besoin le passage des flammes dans le moufle lui-même; dans ce cas, un registre *o* laisse les flammes se rendre dans le carneau de la cheminée en *r*.

Un registre *n* met d'autre part en communication l'intérieur du moufle avec le foyer, par le carneau *jkl*.

Le four est protégé contre le refroidissement par des chambres d'air latérales et supérieures.

La porte *a* d'entrée du moufle est munie d'une garniture réfractaire; cette porte, étant donné son poids, est montée sur galets, roulant sur un rail placé à la partie supérieure du four.

Dans cette porte, une autre plus petite *b*, puis, au milieu de cette dernière, un regard *c* permettent de voir l'intérieur du four et de laisser entrer de l'air en quantité réglée.

L'appareil annexe que vous voyez représenté sur la planche 137, figure 19, est un appareil de transmission du corps dans le four.

Il se compose d'un tube de tôle de 1,50 *m* de longueur, monté sur roues et ouvert à ses deux extrémités. En plaçant d'abord ce tube derrière le tombeau dans lequel le corps a été déposé, comme nous l'expliquerons plus loin, on y fait entrer le cercueil; on ferme ensuite le fond au moyen d'une paroi métallique, au centre de laquelle passe une tige T, qui soutient une sorte de piston, destiné à faire avancer le cercueil au moment opportun. Ce piston est simplement formé de deux barres croisées, dont les extrémités recourbées sur une longueur de 0,50 *m* environ, glissent dans des rainures.

L'extrémité du tube, opposée au fond, est munie d'une large bride qui vient se fixer sur une pièce semblable, de l'entrée du moufle, pour faire joint, au moment où on amène le chariot portant le cercueil, au contact de l'entrée du four.

Ceci posé, quand une incinération doit se faire, on porte le four à haute température, en faisant circuler les flammes, d'abord à l'intérieur du four, les registres *p* et *o* étant ouverts, les registres *m* et *n* fermés; puis autour du four, les registres *p*, *o*, *n* étant fermés, et le registre *m* ouvert.

Quand le four est chauffé à une température suffisante, on continue à faire circuler les flammes autour du moufle, pour maintenir la température, et l'on est prêt pour une incinération.

Lorsque l'appareil de transmission a pris le cercueil, et se trouve disposé comme nous venons de le dire, on ouvre la porte *a* et l'on amène rapidement la bride du tube de transmission sur celle qui est placée en tête du moufle.

Au même instant, on ouvre le registre *n*, puis, au moyen de la tige T on pousse le cercueil sur la dalle *d*.

Dès que le corps est entré dans le moufle, porté au rouge blanc, une quantité considérable de vapeurs et de fumée se dégagent; mais elles n'ont pu pénétrer dans l'usine, puisque le tube de transmission ferme complètement le moufle, au moment même où le cercueil arrive au contact de la dalle portée au rouge.

Le registre *n* étant ouvert, les gaz distillés et les vapeurs sont appelés par le tirage du foyer dans le carneau *k* du foyer, où ils rencontrent le mélange d'air et de gaz combustibles, venant de l'avant-foyer. Tous ces gaz se brassent ensemble en descendant sous la voûte VA, et leur mélange intime leur permet de se brûler en passant au-dessus du coke incandescent, placé en grosse masse sur la grille du foyer proprement dit.

Cependant, au bout d'un temps très court, la distillation est terminée, le corps est réduit en une masse charbonneuse.

Un peu d'air, que l'on fait arriver par un registre situé à l'arrière du tube, balaie les dernières fumées.

On ferme alors le registre *n*, on retire le tube, on remet la porte *a* en place, puis en ouvrant les registres *o* et *p* on fait passer les flammes dans la masse charbonneuse qui repose sur la dalle *d*.

Alors commence la deuxième partie de l'opération : l'incinération.

On fait arriver par le regard *c* placé dans les portes *a* et *b* une certaine quantité d'air, qui facilite l'oxydation du corps, et sous le contact direct et énergique de la flamme à haute température, la faible masse charbonneuse se réduit en peu de temps en une cendre blanche.

L'incinération du corps est terminée.

On fait de nouveau circuler les flammes autour du four. On ouvre la porte *a*, on place à l'extrémité de la dalle une plaque réfractaire, se terminant en entonnoir, et à l'aide d'un rateau, on fait tomber les cendres dans une urne.

Ce four doit répondre aux besoins de la crémation; mais en vue d'enlever à cette cérémonie tout ce qu'elle peut avoir de choquant, nous présentons le four encadré dans une disposition

d'ensemble qui doit satisfaire à toutes les exigences du public, et répondre à tous les besoins, pour la commodité du service.

Cette disposition d'ensemble est représentée en élévation, coupe verticale et plans, sur la planche 113, figures 17 et 18.

Si nous jetons un coup d'œil sur le plan général, nous voyons qu'il est disposé en hexagone; et si nous divisons cet hexagone en six triangles, ayant leur sommet au centre, nous avons l'emplacement d'autant de fours crématoires complets. Aucun service n'empiétant sur un autre, on aura toute garantie pour que les substitutions de cendres ne puissent se produire.

Toute la partie extérieure du bâtiment est seule réservée au public; l'intérieur est, au contraire, consacré exclusivement au service de la crémation. C'est là que se trouvent les six fours.

Pour qu'aucun spectacle pénible ne soit donné aux assistants, on évite toute communication visible entre la chambre des fours et la partie publique. On accède aux fours par la galerie souterraine *k*, qui prend jour en dehors de l'enceinte réservée au public; c'est par cette galerie qu'arrivent les ouvriers, le charbon et les matériaux de réparation.

LÉGENDE

a Péristyle pour l'arrivée des corbillards et voitures;
b Entrée;
c Galerie des pas perdus;
d Chapelle ardente;
e Tombeau;
f Passage du cercueil;
g Four;
h Escalier pour descendre aux urnes;
i Passage de l'urne;
j Caveau où la famille se tient pour recevoir l'urne;
k Galerie souterraine pour le service de l'usine;
l Emplacement d'un wagonnet recevant les escarbilles par conduit spécial;
m Tinette;
n Monte-charge;
o Chemin de fer circulaire pour service du charbon;
p Plancher supérieur de service;
q Porte de chargement du foyer;
r Escalier allant aux combles;
s Communication entre la partie réservée au public et les fours;
t Escalier reliant la chapelle ardente au caveau placé au-dessous;
U Grand salon;
V Petit salon;
X Lavabo;
Y Cabinets d'aisances;
α Calorifère;
β Arrivée d'air frais;
δ Carneau de fumée;
η Cheminée.

Grâce à cette disposition, le cérémonial s'accomplit suivant les usages reçus, conformément à nos mœurs, avec une parfaite correction, et même avec plus de facilité que l'on n'en trouve dans nos cimetières. Quant à la tradition, elle a été respectée; le corps placé dans un cercueil d'apparat a été descendu au tombeau, avec le respect qui convient, et, lorsque quelques instants après, au-dessous du tombeau même, on retrouve l'urne qui renferme les cendres, on peut croire qu'elles sont tombées directement du sépulcre, et l'on n'éprouve aucun sentiment pénible. Le corps a été réduit en poussière, comme il l'eût été par les phénomènes naturels. Il l'a été, il est vrai plus rapidement, par des procédés physiques presque naturels, auxquels se rattache une juste idée de purification.

Du côté de l'enceinte des fours, voici ce qui s'est passé pendant la cérémonie.

Dès que le tombeau s'est fermé sur le cercueil du côté du public, on l'a aussitôt ouvert du côté des fours.

On retire par le bout le cercueil en bois de peuplier, d'une enveloppe en forme de cercueil décoratif, dans lequel il était enfermé, et on l'introduit dans le tube de transmission, en le faisant glisser sur des rouleaux.

On a mis le fond, vissé le manche; on a enlevé la porte du four, ouvert le registre, poussé le tube contre la porte, puis fixé ce tube par des clavettes passées dans la bride, enfin on a poussé le cercueil dans le four.

Toute cette manœuvre s'est faite rapidement, facilitée d'ailleurs par les rails sur lesquels est placé le chariot de transmission.

Quand le corps est incinéré, le chef du service intérieur vient recueillir les cendres dans une urne, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Il descend par l'escalier intérieur, et vient placer l'urne dans la niche du caveau.

Toute la partie architecturale est entièrement réservée. Les clôtures, ouvertures et couvertures ne sont marquées sur la planche 113 *(fig. 17 et 18)* que par un simple trait, à titre d'indication.

DEUXIÈME GROUPE

Chaudières à vapeur.

1° Application a une chaudière a bouilleurs.

Le foyer est représenté *(Pl. 113, fig. 20)*, en coupe verticale par l'axe, et *(fig. 21)* en coupe transversale, suivant la ligne AB de la figure 20.

Dans le but d'exposer au rayonnement du combustible la plus grande surface possible de bouilleurs, la charge de charbon étant faite sur le devant de la grille, nous donnons à la contre-grille qui retient le charbon, et à la voûte de l'avant-foyer qui lui fait suite, les dimensions strictement suffisantes pour contenir le combustible frais. Nous prenons même le soin de supprimer la plaque de foyer, ce qui permet de remonter la grille et de regagner une longueur de grille égale à la largeur de la plaque supprimée. Il ne reste, en somme, qu'une assez faible quantité de l'ancienne grille, recouverte par la voûte d'avant-foyer.

Le dispositif représenté consiste en une plaque de fonte, inclinée vers la surface du combustible. Cette plaque est munie de cannelures CA formant contre-grille, sur laquelle s'appuie la charge de combustible. Les gaz distillés et l'air, traversent les cannelures et sont renversés ensemble, pour passer au-dessus du combustible incandescent. Une pièce réfractaire V'A' repose sur la plaque métallique qu'elle protège ; elle est maintenue par une saillie.

La grille de l'avant-foyer représentée *(fig. 20)* est composée de barreaux, de forme brisée, qui opèrent automatiquement le réglage de l'entrée de l'air sous la grille GA, de l'avant-foyer et à travers la partie GF du foyer proprement dit, en raison inversement proportionnelle à la résistance, et par conséquent à l'épaisseur du combustible.

Une quantité d'air, réglée par le registre *r*P, étant appelée par le tirage, vient se réchauffer contre la voûte VA dont l'extrémité V'A' est portée à une haute température. Elle forme la couche d'air chaud indiquée par le pointillé AA de la figure 1 destinée à faire la combustion complète finale.

L'arrière-foyer est tel que nous l'avons déjà décrit dans les précédentes applications, mais l'introduction de l'air en quantité réglée sous la grille mobile est également simplifiée, en ménageant dans la plaque de séparation S, destinée à empêcher le

refroidissement de l'arrière-foyer, un orifice d'une section déterminée.

La quantité d'air qui pénètre ainsi sous la grille de l'arrière-foyer, se réglant aussi d'elle-même, en raison inversement proportionnelle à l'épaisseur du combustible, une lame d'air passe nécessairement à l'extrémité de la grille, où la résistance est nulle. Elle s'échauffe contre le mur MR + M'R' pour former la lame d'air chaud figurée en pointillé en AR *(fig. 20)*, et qui se combine à celle de l'avant-foyer AA pour terminer la combustion.

Nous avons donné dans cette application un très grand développement à un des organes constitutifs du système, sur lequel nous avions jusqu'ici peu insisté; je veux parler de la voûte VR.

Nous la plaçons au-dessous des bouilleurs et, nous établissons en avant une murette qui force tous les produits de la première combustion à passer au-dessous. Si nous nous préservons ainsi du refroidissement, que produiraient les bouilleurs, en même temps nous préservons ces derniers du contact direct de la flamme.

La forme, la disposition et les dimensions des plaques réfractaires VR sont représentées en coupes longitudinales et transversales *(Pl. 113, fig. 20 et 21)*; elles sont percées d'orifices, en des points tels, que la flamme ne puisse frapper directement la tôle des bouilleurs.

2° Application a une chaudière a foyer intérieur.

Nous pouvons appliquer les mêmes principes aux chaudières à foyer intérieur. Je crois inutile de m'y arrêter longuement. La planche 113 *(fig. 22 et 23)* représente un des dispositifs que j'ai étudiés et qui comporte la suppression de l'avant-foyer. (On la trouvera déposée avec le mémoire à la Société des Ingénieurs Civils de France.)

3° Application a une chaudière locomotive de 28 *t*.

La planche 113 *(fig. 24 et 25)* représente le projet de transformation du foyer d'une locomotive de 28 *t* des chemins de fer économiques de l'Allier.

L'avant-foyer est constitué par une seule cloison réfractaire VA, verticalement disposée, descendant à quelques centimètres seulement au-dessus de la surface, supposée plane, du combustible incandescent, ce qui permet au chauffeur d'avoir constamment la vue entière de son feu.

Nous faisons usage de la grille, précédemment décrite, qui règle

d'elle-même l'introduction de l'air dans l'avant-foyer. La charge de charbon frais étant faite en avant, sur le coke incandescent, l'air qui a traversé la grille de l'avant-foyer, et les gaz distillés, s'élèvent ensemble, verticalement, par la force ascensionnelle des gaz, sans qu'il soit nécessaire de les diriger.

La cloison verticale VA oblige ensuite les gaz à se renverser sous l'action du tirage, elle les fait tourbillonner et se mélanger, avant qu'ils ne passent au-dessus de l'extrémité inférieure de la cloison VA, pour se brûler au-dessus du coke incandescent de la grille.

Je n'ai pas d'explications nouvelles à donner pour montrer comment se fait la combustion rationnelle dans l'arrière-foyer, qui a déjà été décrit. Je ferai toutefois remarquer que, d'après le principe, j'ai dû isoler la partie du cendrier correspondant à l'arrière-foyer, par la cloison S, et n'y laisser entrer qu'une quantité d'air réglée par la valve *r*R, mue par un levier, placé sous la main du chauffeur.

Le surplus du cendrier reste tel qu'il fonctionne en ce moment, avec ses deux portes d'accès de l'air placées, l'une du côté avant, l'autre du côté arrière.

Pour déterminer la seconde combustion qui complète la première, nous opposons à la cloison VA, sur laquelle on fait venir une quantité d'air, réglée par un registre placé sur la porte, une voûte M'R' qui fait suite au mur *d'autel*, et dont l'extrémité se trouve dans le plan horizontal qui passe par l'extrémité de la voûte VA ; la voûte M'R' reçoit par la valve *r*R une quantité d'air réglée.

Les deux lames d'air chaud, indiquées par les lettres AA et AR, se rencontrent à l'extrémité de la voûte M'R'. Ce point de rencontre est chauffé, non seulement par le rayonnement direct de la grille, mais aussi par la cloison VA, dont la surface arrière agit comme voûte d'arrière-foyer.

On devra remarquer que la cloison VA verticale, ne nuit pas au rayonnement de la grille. La petite voûte M'R', ne nuit guère non plus. En effet, on a l'habitude d'en employer de plus fortes pour opérer un renversement de tous les produits de la combustion. Il n'y a donc pas de doute à concevoir au sujet du rendement.

Nous avons pris la précaution de ménager quelques ouvertures dans le bas de la voûte M'R'. Ces ouvertures ont pour effet :

1° De diminuer l'intensité de la flamme à l'extrémité de la voûte ;

2° De lancer un courant d'air en avant des tubes inférieurs, pour les garantir dans une certaine mesure ;

3° De faciliter le nettoyage des tubes.

TROISIÈME GROUPE

Foyers domestiques.

Ce groupe n'a pas une importance moindre que les deux précédents. On pourrait même affirmer que, par le nombre des foyers domestiques employés, par l'usage particulier que chacun de nous en fait, il mériterait d'attirer en premier lieu l'attention des constructeurs, en vue d'y appliquer un système à combustion rationnelle et complète.

Depuis deux ans, et tout dernièrement encore, à la suite de nombreux accidents, l'Académie de médecine a protesté contre l'emploi des appareils en usage.

Tout foyer dans lequel le carbone se trouve en grande masse, principalement s'il marche à combustion lente, produit de l'oxyde de carbone. C'est un fait indéniable, qui est la conséquence même du phénomène de la combustion.

Le charbon brûlant au contact de l'oxygène en excès produit CO^2 ; et CO^2 se trouvant au contact de C porté au rouge, se transforme en 2CO.

Donc, l'air, en pénétrant dans le bas d'une grille d'un foyer quelconque, forme de l'acide carbonique. Ce dernier gaz, en rencontrant au-dessus de lui du charbon incandescent, se transforme en oxyde de carbone ; c'est le gaz que nous voyons brûler en flamme bleue, au-dessus de toutes les grilles chargées de coke incandescent.

Il convient de dire qu'un appareil bien construit, avec une bonne fermeture hermétique, ne laisse pas échapper son oxyde de carbone dans l'appartement, et que, s'il existe un bon tirage, l'oxyde de carbone en excès est enlevé par la cheminée.

Mais qu'advient-il si, pour une cause ou pour une autre, une fuite se produit dans l'appareil, du côté de l'appartement ? ou si le tirage se fait mal ? ou si la cheminée est crevée ? ou si elle débouche près de la fenêtre d'un voisin ? Ce sont des cas accidentels, il est vrai, mais personne n'est certain de pouvoir y échapper.

Puisque le public veut conserver l'usage des appareils à combustion lente, et puisque ceux-ci produisent nécessairement de

l'oxyde de carbone, il n'y a qu'une seule manière de se soustraire avec certitude à leur action malfaisante, c'est de faire brûler l'oxyde de carbone dans le foyer même, au fur et à mesure qu'il se produit.

L'application de mon système aux foyers à feu continu et à combustion lente, fournit précisément un moyen de réaliser ce perfectionnement.

1° Application a un poêle a feu continu.

Le poêle représenté *(Pl. 114, fig. 26)* est établi et fonctionne dans mon laboratoire, 23, rue de Turin, tel qu'il est placé sous vos yeux. C'est un appareil de démonstration construit économiquement et d'une façon grossière. Il était simplement destiné à servir de point de départ pour une véritable application ultérieure.

Tel quel, il donne cependant des résultats remarquables ; et même, il y a très peu de temps, il a servi à une expérience scientifique très intéressante. Ce qui le distingue de tous les autres foyers, de même genre, connus, c'est qu'il n'a pas de fermeture hermétique à sa partie supérieure. Une simple rondelle brute de fonte, sans aucun ajustage, comme celles qui sont placées sur les fourneaux de cuisine, ferme l'orifice de chargement.

Par contre, une cage contenant deux oiseaux est placée dans la pièce, afin de rassurer les opérateurs en les garantissant du danger de l'intoxication.

L'appareil étant en marche, chargé de coke, on aperçoit par la porte de mica réservée sur le devant, non seulement le coke incandescent, au point où la combustion est la plus active, mais encore une large flamme bleue qui lèche continuellement une pièce réfractaire, à laquelle on a donné la forme d'une bûche de bois, et qui est placée un peu au-dessus du coke.

C'est l'oxyde de carbone qui brûle, et qui brûle en totalité, au fur et à mesure de sa transformation ; car l'air de la chambre est resté pur. Mes petits oiseaux n'ont jamais cessé de s'y bien porter, et les personnes les plus sensibles à l'oxyde de carbone déclarent ne ressentir aucun malaise dans l'atmosphère très chaude de la pièce.

Parmi ces dernières, je vous demande la permission de vous citer M. Gréhant, l'éminent professeur de physiologie au Muséum, qui précisément s'est fait connaître par ses remarquables travaux sur l'oxyde de carbone, et la méthode qu'il a indiquée pour en révéler les dernières traces, et le combattre partout où il se produit.

M. Gréhant a bien voulu soumettre mon appareil à ses expériences, et reconnaître la quantité d'oxyde de carbone qui s'en dégageait.

Voici les conditions dans lesquelles l'expérience a été faite :

Conditions de l'expérience.

— L'appareil ne sera pas hermétiquement fermé à sa partie supérieure; le trou de chargement supérieur sera simplement recouvert d'une rondelle de fonte brute mal jointe.

— L'appareil fonctionnera pendant quarante-huit heures consécutives ; le jour en marche active, avec l'introduction d'air maxima ; la nuit en marche lente, avec l'introduction d'air minima.

— Le chargement sera fait au coke.

— On ne touchera pas à l'appareil en dehors des heures de chargement.

— Deux oiseaux en cage garantiront les expérimentateurs.

— Toutes les conditions de marche seront inscrites sur un journal.

— Le constructeur de l'appareil demande à faire la réserve suivante :

L'appareil qui va être soumis à l'expérience est un appareil de démonstration unique, qui a été construit le plus économiquement possible, c'est-à-dire grossièrement. Il fonctionne tel qu'il a été projeté en dessins; sans aucune retouche, ni dans la construction, ni dans les sections de carneaux et ouvertures de registres.

La marche lente, notamment, est obtenue par la fermeture complète de l'accès de l'air ; l'air ne passant plus que par les joints, ce qui indique suffisamment le manque de précision de l'appareil.

Déjà un grand nombre d'améliorations apparaissent comme devant être réalisées lors de la construction pratique des appareils de ce genre.

Quoi qu'il en soit, à moins de défauts de construction qui n'apparaissent pas jusqu'ici, ou de brisures dans l'appareil, qui ne semblent pas exister, le constructeur estime que l'expérience démontrera, tout comme le démontre la théorie, que la totalité de l'oxyde de carbone est brûlée à l'intérieur de l'appareil, sous les yeux de l'expérimentateur.

Pendant deux jours et deux nuits, le poêle brûla dans une pièce fermée ; le jour en marche vive maxima ; la nuit en marche lente minima.

Le troisième jour, vers dix heures du matin, un canard vivant fut placé dans la pièce par un préparateur du Muséum qui sortit, ferma la porte, et emporta la clef. Deux heures après, il rouvrit la porte, coupa le cou du canard, recueillit et défibrina le sang, qui fut tout de suite envoyé au laboratoire de M. Gréhant.

Celui-ci a bien voulu me communiquer les résultats de son analyse :

16 janvier 1894. — « En faisant l'extraction des gaz du sang du canard, on a trouvé dans 33 cm^3 de sang, 0,31 cm^3 d'oxyde de carbone, correspondant à 2 divisions, 4 du grisoumètre Gréhant; cela ferait pour 100 cm^3 de sang, 0,95 cm^3 d'oxyde de carbone; et dans l'air, la proportion très faible de $\frac{1}{5\,800}$. Il y a donc, dans l'air de la pièce, très peu d'oxyde de carbone. »

Dans une récente séance de l'Académie de médecine, l'illustre chimiste Moissan disait que la cause la plus importante d'intoxication par l'oxyde de carbone, — celle que nous devons poursuivre sans relâche, — nous est fournie, suivant ses propres expressions, par la plupart des procédés de chauffage modernes. Il cite les modestes calorifères à air chaud, lorsque les joints des tuyaux ne sont pas faits avec les mêmes précautions que l'on emploie pour les machines à vapeur, et les foyers domestiques si nombreux, dans lesquels on emploie des cloches en fonte, sujettes à se fendre, comme étant des causes permanentes d'empoisonnement lent par l'oxyde de carbone. Sans parler des poêles mobiles, qui, d'après ses expériences, renvoient à la cheminée jusqu'à 15 et 16 0/0 d'oxyde de carbone.

M. Moissan cite en même temps une expérience qu'il a faite et qui démontre que l'oxyde de carbone mélangé à un volume égal d'acide carbonique, tombe au lieu de s'élever, comme aurait pu le faire supposer la densité de l'oxyde de carbone. (*Journal officiel* du 20 mars 1894.)

Je dois vous faire remarquer que la chambre du foyer de mon appareil n'étant pas fermée, c'est l'atmosphère de cette capacité elle-même qui a fourni la proportion $\frac{1}{5\,800}$; et je vais vous montrer dans un instant que les gaz contenus dans la capacité du foyer se brûlent avant de passer dans la capacité suivante, qui les conduit au tuyau de cheminée.

Puisque les constructeurs parviennent à préserver à peu près leurs clients des $\frac{16}{100}$ d'oxyde de carbone qu'ils produisent; à plus forte raison les garantiront-ils complètement de la proportion de $\frac{1}{5\ 800}$ contre laquelle ils auront seulement à se défendre en employant mon système de fumivorité, que je vais vous décrire.

En quelques mots je vais vous montrer la raison de ces intéressants résultats, en vous expliquant le fonctionnement de l'appareil.

Vous retrouvez planche 114 *(fig. 26)* les trois éléments de mon système :

Avant-foyer, foyer proprement dit et arrière-foyer.

Grâce à une inversion, l'arrière-foyer se trouve rappelé en avant, question de logique, eu égard au but que doit remplir l'appareil.

Vous remarquerez le grand développement donné à l'avant-foyer; il règne sur toute la hauteur de l'appareil, et c'est lui qui sert de réserve pour le combustible, tout en exerçant sa fonction, telle que nous l'avons décrite, celle d'être traversé et enveloppé constamment par de l'air.

Lorsqu'on charge le foyer, les gaz distillés se dégagent avec l'air qui traverse l'avant-foyer. Ils se mélangent en se renversant, et viennent se brûler au-dessus du coke incandescent. L'appareil brûle donc aussi bien du charbon que de l'anthracite et du coke, et, en général, tout autre combustible.

Mais restons dans la donnée de l'expérience qui a été faite avec du coke.

Le mur plein VA ou voûte de l'avant-foyer, descend jusqu'au-dessus du coke incandescent sur lequel doit avoir lieu l'inflammation des gaz; l'extrémité V'A' prend la forme d'une bûche en bois qui doit être léchée par la flamme, et qui est visible par une porte de mica.

Dans cette situation, le coke étant en combustion sur la grille inférieure de l'appareil, chauffe le combustible supérieur, qui est en même temps traversé et enveloppé par l'air.

Une certaine quantité de coke, porté au rouge, se trouve donc en présence d'une quantité d'air, qui le traverse, et qui empêche la formation d'une quantité correspondante de CO. Quant à la quantité d'oxyde de carbone néanmoins produite, elle est forcée de rencontrer l'air qui, passant au point de plus faible résistance, a contourné le combustible, et s'est réchauffé sur la voûte VA.

Les deux courants de gaz se mélangent en descendant ensemble sous l'action du tirage, et le mélange se brûle en passant au-dessus du coke incandescent.

L'air est introduit par la porte du cendrier, munie de crans d'arrêt pour effectuer le réglage.

Un registre *r*A limite son entrée dans l'avant-foyer. Du côté de l'arrière-foyer, une plaque de tôle S est disposée de façon à ne permettre l'entrée qu'à une lame d'air de section limitée, qui s'échauffe en avançant sous l'action du tirage, pour former la lame d'air chaud AR indiquée sur le plan, par le pointillé; elle vient se rencontrer, sur la bûche réfractaire, avec la lame d'air chaud indiquée par le pointillé AA et qui est descendue le long de la voûte VA.

Dès lors, tout l'oxyde de carbone produit sur les grilles du bas, aussi bien que celui qui aurait pu échapper à la première combustion dont nous avons parlé, se trouve saisi entre les deux couches d'air chaud AA et AR et brûlé à leur point de rencontre.

En résumé, si par la pensée nous renversons l'appareil, et si nous le plaçons horizontalement, toute la masse de charbon apparaît comme si elle était placée sur une grille formant une couche d'une hauteur limitée à son épaisseur sur la grille, et non plus d'une hauteur égale à celle du réservoir de combustible.

Toute la masse traversée par l'air ne doit donc pas produire plus d'oxyde de carbone que ne le ferait une grille ordinaire.

Mais, de plus, nous voyons que, dans tous les sens, le foyer est complètement et constamment enveloppé par un courant d'air qui se meut librement, sans rencontrer aucune résistance sur son parcours, et qui ne peut se dégager qu'en serrant et en brûlant tous les produits combustibles, au point le plus chaud du foyer.

Cette couche d'air protectrice, toujours interposée entre le foyer et l'opérateur, aussi bien qu'entre le foyer et la cheminée, ne peut absolument pas laisser passer l'oxyde de carbone, qui s'échappe seulement par l'orifice réservé au-dessus du coke incandescent, où il brûle forcément comme nous venons de l'expliquer.

Je n'ai pas besoin de vous faire remarquer que le foyer ci-dessus décrit peut se placer à l'intérieur de toutes les enveloppes si appréciées du public. Il suffira pour que toutes les formes connues deviennent, sans grande dépense supplémentaire, d'excellents appareils calorifères à combustion lente, et à feu continu, à l'usage de tous les combustibles, qu'elles recouvrent le nouveau système fumivore décrit plus haut.

2° Auto-régulateur du tirage.

L'emploi des appareils à feu continu actuellement usités, rend indispensable le bon tirage des cheminées devant lesquelles ils sont établis.

Car, si l'on peut se garantir de l'oxyde de carbone dans un appartement, en employant un appareil bien construit, et en l'entretenant avec soin, c'est à la seule condition que le tirage soit capable d'évacuer l'oxyde de carbone envoyé dans la cheminée, et surtout à la condition que la cheminée ne puisse pas refouler le gaz délétère qui est enfermé dans l'appareil.

Or, on peut affirmer qu'il n'existe pour ainsi dire pas de cheminée qui ne soit sujette à refoulement, à certain moment donné.

Pour remédier à ce grave inconvénient, je pourrais presque dire que pour conjurer ce danger, on présente au public de petits systèmes composés d'une ou de plusieurs plaques oscillantes, placées dans le tablier de la cheminée.

Si le tirage s'opère bien, l'air fait incliner les plaques pour pénétrer dans la cheminée. Si le tirage venait à se faire en sens inverse, il fermerait, au contraire, les plaques oscillantes, qui donneraient ainsi l'illusion d'un obstacle au refoulement.

Jugeant de la cause par l'effet, le public se trouve rassuré. Or, vous savez très bien, Messieurs, que ce petit système n'a exercé aucune action utile sur le tirage. Il contribue, au contraire, à faire entrer dans la cheminée une quantité d'air nuisible, et il ne met aucun obstacle au dangereux refoulement qui s'opère par le poêle lui-même.

Le seul mérite de cet appareil est d'être un indicateur. Si, en effet, on a la chance d'avoir les yeux fixés sur la plaque oscillante au moment même où elle devient fixe, on est averti du danger.

On pourrait, il est vrai, enlever à cet indicateur son mutisme, à l'aide de clochettes ou de contacts électriques, comme on peut aussi employer d'autres systèmes avertisseurs : notamment ceux qui révèlent la présence de l'oxyde de carbone. Rien de tout cela n'empêcherait d'ailleurs le tirage de se mal faire, ni l'oxyde de carbone de pénétrer dans l'appartement.

J'ai pensé qu'il serait très intéressant de forcer le tirage à se régulariser automatiquement, quoi qu'il arrive, et j'ai imaginé, à cet effet, le petit appareil très simple que je vous présente *(Pl. 114, fig. 27, 28 et 29)* sous le nom de : *auto-régulateur de tirage*. Celui-ci con-

siste dans un coude-support, qui permet d'emmancher, avec une très grande facilité, un tuyau de poêle de 0,75 *m* de longueur environ, dans la cheminée à la suite du tuyau qui sort de l'appareil à feu continu. Je place autour du premier support une double enveloppe qui permet d'emmancher à sa partie supérieure un second tuyau, concentrique au premier, de 1 *m* de longueur environ, et je prolonge cette double enveloppe, dans le bas du support, jusqu'à une petite distance du fond de l'appareil en forme de cuvette, ce qui constitue une sorte de *manche à vent*, c'est tout. Dans ces conditions, je vais vous démontrer que, si pour une cause quelconque, il y avait un refoulement dans la cheminée, ce refoulement se trouverait rejeté sur les parois, tandis que le tirage continuerait à se faire par le centre de la cheminée.

En effet, l'appareil étant en place et en fonction, admettons qu'un refoulement se produise.

Le courant descendant, appuyant sur le *manche à vent*, détermine dans la double enveloppe un courant ascendant, de force à peu près égale, déduction faite des frottements.

Mais ce courant ascendant se trouve fortement chauffé par la cheminée centrale qui, en même temps, exerce à son extrémité supérieure une action d'entraînement.

On peut donc être certain que le courant de la double enveloppe sera, en toutes circonstances, plus fort que le courant descendant, et qu'il le pénétrera en livrant passage au courant central.

C'est-à-dire que le tirage de l'appareil se trouvera assuré en toutes circonstances par le centre de l'auto-régulateur du tirage, pendant que le refoulement pourra, du reste, continuer à se faire le long des parois.

Mais si mon appareil de chauffage a un tirage régulier, nous avons démontré qu'il ne peut pas dégager d'oxyde de carbone dans la cheminée; par conséquent, si même le refoulement des parois aboutissait encore dans l'appartement, il serait devenu dès lors inoffensif.

3° Application a un poêle calorifère a feu intermittent

Il m'a paru intéressant de vous présenter planche **114** *(fig. 30 à 33)* un poêle calorifère à feu intermittent, à la suite du foyer à feu continu. Je me borne à en montrer ici les dessins.

4° Application a un fourneau de cuisine

Voici encore une intéressante application :

Jamais, à ma connaissance, on n'a rien fait dans le sens de la

combustion rationnelle et complète pour ces petits foyers qui nous rendent de si agréables services. Les cuisinières continuent à secouer rageusement le trou à charbon, au moment des coups de feu.

Jamais elles n'ont assez de chaleur pour saisir leur rôti, ou dorer leur gratin. Alors elles bourrent leur foyer jusqu'à la gueule, le charbon gonfle, soulève les rondelles, et si malheureusement la ménagère arrive sur ces entrefaites, elle se plaint que l'on fasse éclater le fourneau et que l'on asphyxie les gens de la maison.

J'ai essayé de mettre tout le monde d'accord en donnant à la cuisinière, au moment voulu, une quantité de chaleur beaucoup plus grande encore qu'elle ne pouvait l'espérer, et en lui permettant de réduire ensuite son feu à volonté. Je donne en même temps à la ménagère la satisfaction de ne voir jamais le foyer rempli, et de réaliser des économies, en brûlant les fumées et les gaz autour du four même.

La planche 114 *(Fig. 34)* représente une coupe verticale du fourneau de cuisine passant par l'axe du four (voir aussi les figures 35 et 36).

Vous remarquerez que le foyer présente, à très peu près, les formes et organes représentés par les mêmes lettres que dans les foyers que j'ai précédemment décrits, ce qui me dispensera d'une longue explication.

Nous avons respecté la manière dont la cuisinière a l'habitude de charger son foyer; mais le charbon tombe sur une grille de forme rationnelle, et s'enflamme plus rapidement sous l'influence d'une plus grande quantité d'air pénétrant dans le charbon frais.

Une pièce réfractaire spéciale, qui sépare l'avant-foyer de l'arrière-foyer, oblige tous les gaz à se renverser autour d'elle, avant qu'ils ne viennent se brûler sur le combustible incandescent de l'arrière-foyer.

La plaque S, qui est mobile, et ne laisse passer l'air qu'en quantité réglée, et la masse incandescente du milieu, concentrent la chaleur dans l'arrière-foyer.

On voit, par la position des deux pièces réfractaires VA et M'R', comment agissent les courants d'air chaud, représentés en pointillés et désignés par les lettres AA et AR, pour terminer la combustion.

Finalement on obtient, au-dessus et autour du four, une véritable torche de gaz enflammé.

Enfin les gaz et les fumées brûlés à la sortie du foyer ne pro-

cureront pas seulement l'agrément de la propreté et de l'hygiène; ils permettent en même temps de produire sur la seconde rondelle de la cuisinière une forte température qui facilite beaucoup la cuisson d'un repas.

En outre, le rayonnement du foyer, qui est aujourd'hui perdu, du côté opposé au four, peut-être utilisé pour chauffer une broche ou un gril, placés sur une porte qui se rabat sur le côté.

Lorsque le grand coup de feu est terminé, on peut introduire sous la grille, entre les glissières ménagées dans les parties pleines, des registres représentés par des pointillés en PM. Ils ferment la grille de l'avant-foyer, lequel devient alors un simple réservoir de combustible.

Lorsqu'on n'a plus besoin de feu, un coup donné sur la poignée de la grille mobile fait tomber le restant du coke dans le cendrier, ce qui a le double avantage de nettoyer le foyer sans aucun effort et de conserver une certaine quantité de coke pour le lendemain.

Le premier modèle existe en ce moment à « La Ménagère », et a donné aux essais des résultats de fumivorité analogues à ceux que j'ai décrits au commencement de cette communication.

5° Application a un poêle de fonte simple formant cuisinière.

Ce modèle *(Pl. 114, fig. 37 à 41)* est également en cours d'exécution à « La Ménagère ». C'est le premier que j'ai tenu à faire mettre dans le commerce, parce qu'il répond aux besoins des petits ménages, et que ce sont eux qui, les premiers, doivent bénéficier de l'économie qu'il va nous être possible de réaliser dans les foyers domestiques.

6° Application aux appareils de cheminées d'appartement.

Nous distinguons trois cas :

1° L'appareil est introduit dans la cheminée et constitue une grille perfectionnée;

2° La grille perfectionnée est entourée d'un revêtement pour constituer un appareil mobile placé en avant de la cheminée;

3° Enfin, l'appareil se réduit à une garniture intérieure de cheminée, dans laquelle on fait à volonté du feu de bois ou de tout autre combustible.

a) *Appareil placé dans les cheminées d'appartement.*

Cet appareil est représenté planche 114 *(fig. 42 à 45)*. Il a pour but de permettre de placer dans une cheminée une grille aussi

simple que possible, sur laquelle le charbon brûle d'une façon rationnelle et complète, en produisant son maximum d'effet.

Nous avons d'abord donné à la grille une largeur à peu près égale à sa profondeur et à la hauteur du charbon, de façon à produire la chaleur maxima, sous le volume minimum de charbon. Il est, en effet, évidemment économique de réduire la largeur de la grille, si la partie utilisée peut fournir, grâce à une meilleure combustion, autant de chaleur que la grille totale.

Les dessins, dans lesquels les mêmes organes sont représentés par les mêmes lettres, suffisent pour faire ressortir les différences qui existent dans ce cas spécial.

Je dois pourtant m'arrêter un instant sur une particularité de cet appareil.

Il fonctionne avec une grande activité, ce qui s'explique, puisque sa marche est rationnelle. Le tirage n'est pas ralenti par une masse d'air inutile, qui généralement pénètre autour des grilles dans les cheminées.

C'est là un sérieux avantage, surtout si la cheminée n'a pas un très bon tirage; mais aux yeux du public, l'avantage pourra être contesté si la combustion du charbon est trop rapide.

D'autre part, on établit une circulation d'air autour du foyer; l'air entrant à la température normale dans le bas de l'appareil, ressort chaud par les orifices supérieurs.

Mais, si le tirage est très vif dans la cheminée, l'air chaud, au lieu de se dégager dans l'appartement, se trouve entraîné dans la cheminée même, ainsi que l'air réchauffé autour de l'appareil, par le rayonnement du foyer.

Ce phénomène n'est pas particulier au foyer que nous représentons. Il se reproduit dans tous les appareils établis à l'intérieur des cheminées. Ceux-ci seraient donc condamnés d'avance dans leur principe même.

Il faudrait donc se résigner à ne placer dans l'intérieur des cheminées que des grilles simples, à faible tirage, chauffant par rayonnement, et à réserver les systèmes perfectionnés aux seuls appareils mobiles, ne communiquant aux cheminées closes que par un tuyau de dégagement muni d'une clef.

Nous avons essayé cependant de tourner la difficulté pour l'appareil que nous représentons, en laissant pénétrer une certaine quantité d'air dans la cheminée, par un espace réservé au-dessous et en arrière de l'appareil.

Dans ce cas, le tirage est d'autant plus ralenti, qu'à l'aide d'un

registre, on laisse passer plus d'air frais de la pièce dans la cheminée.

Il faut observer en outre que l'air, entrant ainsi au plus bas de la cheminée, est l'air le plus frais. Son appel détermine la chute d'une quantité correspondante d'air chaud venant du haut, et provoque en conséquence l'ascension de l'air chaud, sortant de l'appareil, vers le haut de la pièce. Il s'établit donc un mouvement circulaire tendant à faire constamment monter l'air chaud dans la pièce pour remplacer l'air frais qui pénètre dans la cheminée.

Cet appareil fonctionne depuis un mois dans mon cabinet de travail. La forme même de la grille rassemble constamment le charbon sur lui-même dans la position la plus favorable à sa combustion. L'activité du tirage permet de régler l'ardeur du feu, en consommant du poussier de charbon et des cendres, mélangés d'escarbilles, que l'on charge sur la masse incandescente. La charge du combustible se fait toujours à la même place, au centre, sur la contre-grille CA. La conduite du feu, si difficile sur les autres grilles, devient donc ici extrêmement simple. Elle se fait sans aucune perte de temps et sans aucun effort. Le feu peut être maintenu en activité pendant deux heures, et même trois, sans qu'on y touche. On ne risque donc pas de le laisser éteindre. Je ne consomme pas en ce moment un seau de charbon par jour, tandis qu'il en faudrait trois au moins pour alimenter le feu d'une façon continue, dans un autre appareil de cheminée.

b) *Appareil mobile placé en avant de la cheminée.*

La planche 114 (*fig. 46 à 48*) représente une grille perfectionnée, telle que nous venons de la décrire, disposée en foyer mobile, de telle sorte que le foyer proprement dit est complètement environné d'air, qui se chauffe et se dégage dans l'appartement, alors que le foyer communique à la cheminée par un tuyau muni d'une clef.

L'appareil qui est représenté est disposé de façon à laisser voir, par une porte de mica P, l'inflammation des fumées et des gaz combustibles sur une pièce réfractaire M'R', en forme de bûche de bois.

Il est en outre supposé recevoir l'air du dehors, ce qui permet d'envoyer une certaine quantité d'air frais en avant et au-dessous de la grille, pour assurer le fonctionnement du tirage, comme si l'on avait ouvert une fenêtre.

c) *Application à une garniture intérieure de cheminée d'appartement.*

Nous arrivons à la dernière application que je désire vous présenter, et que je considère comme l'une des plus intéressantes, sous tous les rapports.

Je n'ai pas beaucoup insisté sur les premières applications que je viens de vous indiquer pour les appareils de cheminées d'appartements, afin de retenir un peu votre attention sur celui-ci.

La cheminée d'appartement est essentiellement française et parisienne, elle est universellement adoptée chez nous, parce qu'elle est décorative, agréable et hygiénique, et parce qu'elle répond aux conditions de notre climat, à nos goûts et à nos mœurs familiales autant qu'amicales.

Nous ne pouvons nous dispenser de reconnaître cependant qu'elle constitue un moyen de chauffage détestable, qu'elle fournit un rendement en chaleur, absolument insignifiant, et que, par certains jours de froid vif, elle devient insuffisante.

Les appareils Fondet et autres analogues ont déjà sensiblement amélioré cet état de choses; mais ils sont encore bien loin du but désirable. C'est cette lacune que je me suis proposé de combler en établissant des cheminées fumivores qui soient d'excellents appareils de chauffage et de ventilation, susceptibles d'être réglés suivant les besoins, et dans lesquels, bien entendu, chacun pourra continuer à faire le feu, suivant ses convenances, comme dans toute autre cheminée ordinaire.

Le dispositif que j'emploie n'est autre que mon système fumivore, ou pour parler plus exactement, un dérivé de mon système.

Il n'y a pas lieu, en effet, d'employer les trois foyers qui servent à faire la combustion rationnelle, puisque l'appareil constituant la garniture intérieure de cheminée ne comporte aucun foyer, et que nous admettons que l'on doit pouvoir y faire le feu par un moyen quelconque.

Mais j'ai expliqué que, dans mon système, l'avant-foyer et l'arrière-foyer, après avoir opéré une première combustion rationnelle, se combinent ensemble, de façon à faire une seconde combustion complète de tous les produits combustibles volatils qui ont échappé à la première.

A défaut de mon foyer spécial, j'opère de la même manière sur un foyer quelconque, et je me contente de faire une seconde combustion des produits volatils qui ont échappé à la première,

sans me préoccuper de la manière dont cette première combustion a été effectuée. Je me sers, à cet effet, des mêmes dispositifs, ou à peu près, que j'ai déjà décrits. Il est vrai que je ne dispose plus d'un avant-foyer ni d'un arrière-foyer, mais je les remplace par des organes spéciaux auxquels je fais jouer le même rôle, par rapport à un foyer quelconque, que la voûte VA de l'avant-foyer et le mur d'autel MR de l'arrière-foyer jouaient, par rapport au foyer rationnel que j'ai décrit.

Pour faciliter la démonstration, je donnerai aux parois qui constituent les organes de cet appareil les mêmes lettres que nous avons déjà données aux organes correspondants de mon système fumivore.

L'appareil est formé d'un coffre métallique qui garnit la totalité du foyer, et qui se place à une petite distance des murs intérieurs de la cheminée, de façon à laisser une circulation d'air se faire en arrière, sur la surface de chauffe tout entière *(Pl. 114, fig. 49 à 51)*. Les surfaces sont représentées unies et pourvues, en partie seulement, d'ailettes en arrière, sur lesquelles l'air vient se réchauffer. Il va sans dire que l'on pourrait multiplier, autant qu'on le jugerait nécessaire, les ondulations et les nervures, pour augmenter la surface de chauffe.

Les deux parois latérales sont réunies entre elles par une sorte de tube K, qui a reçu une forme appropriée, et qui met en communication les courants d'air chaud qui circulent autour de l'appareil.

En même temps, la pièce K divise en deux parties l'accès de la cheminée. Elle forme, en combinaison avec la partie inférieure de la paroi du fond, un orifice de sortie placé à la hauteur du centre présumé de la combustion. D'autre part, elle laisse un dégagement dans le haut de la cheminée. Un registre est placé dans le passage supérieur. Il a pour but d'augmenter ou de diminuer, suivant les besoins, et par différence, les quantités d'air et de gaz qui passent par l'orifice inférieur. Il règle et active le tirage et supprime l'emploi du tablier pour cet objet.

L'âtre du foyer se relève en arrière, en forme de paroi métallique S, qui vient aboutir à l'orifice d'échappement des gaz et se place à une petite distance du fond de la garniture, de façon à laisser passer entre les deux parois une mince couche d'air.

La pièce K se termine par une extrémité en terre réfractaire V'A', la paroi MR se termine de même par une extrémité en terre réfractaire M'R'; ce qui revient à dire que l'orifice O est fait en

une même pièce réfractaire, qui s'encastre dans les parois ménagées à cet effet.

Les deux extrémités V'A' et M'R' sont disposées, l'une par rapport à l'autre, de telle sorte que la couche d'air représentée par le pointillé AR, qui se dégage à l'extrémité M'R', étant appelée par le tirage, soit obligée de rencontrer la couche d'air représentée en AA, également appelée par le tirage, et qui suit la face VA de la pièce K, et son extrémité V'A'.

Admettons maintenant que l'on fasse sur l'âtre de la cheminée un feu quelconque. Celui-ci, par rayonnement et par contact, échauffe toutes les parois, et notamment celle du fond.

Les deux couches d'air AA et AR, qui les longent, vont donc s'échauffer et, en se rencontrant, elles serrent entre elles tous les produits de la combustion qui passent par l'orifice O. La rencontre se fait en un point qui est le plus chauffé par le feu de la cheminée, et où la paroi du fond concentre la chaleur. En ce point, la température doit être assez élevée pour déterminer l'inflammation.

La flamme, passant dans le conduit, vient rencontrer à son extrémité les courants d'air et de gaz qui ont passé par le dégagement supérieur, et les brûle.

Toute la chaleur de convexion et de radiation dégagée, tant dans la première combustion faite sur l'âtre, que dans la deuxième combustion, sert à réchauffer l'air qui passe autour de toutes les parois de la garniture. Elle reçoit donc son utilisation maxima.

Nous admettons que l'air, qui circule et se réchauffe autour de l'appareil, vient du dehors et qu'il rentre chaud dans l'appartement, par les orifices ménagés soit dans le marbre de la cheminée, soit dans le mur, suivant l'usage.

Comme dans les appareils précédents, l'air du dehors est amené en avant de l'âtre et permet de donner toujours au feu et au tirage une aussi grande activité que si une fenêtre était ouverte en permanence.

Il est inutile d'observer qu'il n'y a pas la moindre communication entre le parcours des flammes et celui de l'air chaud ; que le contact de l'appareil avec la maçonnerie s'opère très facilement par le moyen d'une simple bride. Ajoutons que le ramonage et le nettoyage peuvent se faire si facilement qu'il n'est pas même nécessaire de déplacer l'appareil.

D'autres applications particulières de mon système de chauffage sont à l'étude, toujours fondées sur les mêmes principes.

Dans ces derniers cas, absolument comme pour les applications dont j'ai eu l'honneur d'expliquer les principes et les détails devant vous, ce sont toujours les mêmes éléments qui interviennent pour produire une combustion rationnelle, et rendre utilisable une plus grande quantité des calories contenues dans les combustibles, pour supprimer les fumées, brûler l'oxyde de carbone et allier l'hygiène à l'économie dans le chauffage.

L'application généralisée de la combustion rationnelle et intégrale répond à une des plus pressantes exigences de la vie industrielle et domestique. Elle assainit à la fois l'intérieur des maisons et l'atmosphère des grandes villes. Elle fait disparaître une cause de plaintes, de différends et de procès, et rendant la combustion moins coûteuse, plus rapide et plus saine, favorise à la fois la santé publique et l'essor de l'industrie.

TRACTION MÉCANIQUE DES TRAMWAYS

PAR

M. E. de MARCHENA

INTRODUCTION

Depuis quelques années, la question de la substitution de la traction mécanique à la traction animale pour le service des tramways est plus que jamais à l'ordre du jour, et le haut prix des fourrages l'an dernier, en imposant de si lourds sacrifices à presque toutes les Compagnies, est venu donner un regain d'actualité à cette question.

Divers systèmes qui ont tous fait leurs preuves se partagent la faveur des Compagnies et celle du public. Mais aucun d'eux jusqu'à présent n'a affirmé d'une manière vraiment indiscutable sa supériorité sur ses rivaux et ceci paraît tenir non seulement aux difficultés de comparaison équitable dans les mille applications différentes avec des conditions locales si diverses, mais aussi à ce qu'en réalité le système idéal n'existe pas et ne peut exister, chaque système ayant ses imperfections compensées par des avantages qui le désignent plus spécialement que les autres pour telle application particulière, de sorte que tel système qui se sera montré supérieur dans certaines conditions, ne donnerait dans telles autres que des résultats médiocres.

Les compétitions ardentes des différents inventeurs qui s'accordent parfaitement à voir avec des lunettes grossissantes la paille qui est dans l'œil de leur prochain en refusant d'apercevoir celle plus ou moins grosse qui obstrue le leur, n'ont pas été faites pour éclaircir la question.

Conditions dans lesquelles la traction mécanique est avantageuse.

§ 1. — Mais, d'abord, quand peut-on et doit-on employer la traction mécanique de préférence à la traction animale? La question se pose d'une manière bien différente suivant que la ligne est à créer ou déjà établie.

En effet, s'il s'agit d'une ligne déjà établie et fonctionnant par

traction animale, la substitution de la traction mécanique entraînera des frais et des dépenses qui n'auraient pas à entrer en ligne de compte si la ligne était seulement à l'état de projet, et qu'il faudra complètement amortir avec les excédents de bénéfices avant de trouver aucun profit à l'opération.

Il faudra, en effet, vendre la cavalerie, toujours à perte, transformer les dépôts, remplacer les écuries, magasins et bâtiments divers par d'autres d'une nature tout à fait différente et modifier complètement le service de l'exploitation.

Enfin il faudra le plus souvent remplacer complètement la voie ; telle voie suffisamment résistante pour la traction animale, ne l'est pas du tout assez pour permettre le passage des moteurs mécaniques et quoiqu'on ait bien souvent, par des motifs d'économie, passé par-dessus cette considération, on a payé cette erreur par des frais anormaux d'entretien et de réfection qui ont rapidement obligé de recourir dans la suite à la mesure radicale que l'on avait espéré pouvoir éviter.

L'ensemble considérable des frais que nécessite une modification si profonde dans le service arrête généralement les Compagnies, à moins que les avantages résultant de la traction mécanique soient tels qu'il ne puisse y avoir d'hésitation possible.

Mais, dans ce cas, il faut obtenir une augmentation suffisante de la durée de la concession pour permettre l'amortissement de ces dépenses.

Au contraire, quand la ligne est à créer, on peut prévoir à loisir, dès l'origine, l'installation de la voie et des bâtiments annexes pour les besoins du système adopté et dès lors il ne reste plus à comparer que les prix de revient et les résultats économiques, qui sont presque toujours en faveur de la traction mécanique.

Un facteur très important, dont il doit être tenu compte, consiste dans les goûts du public à desservir, dans ses exigences, dans la préférence qu'il accorde (toutes autres questions réservées) à tel ou tel moyen de locomotion.

En général, la traction mécanique, sauf de rares exceptions, a la faveur du public ; elle donne plus de régularité et de rapidité au service, elle permet de desservir plus aisément les profils accidentés et d'éviter sur les fortes rampes ces montées si lentes et si pénibles qui l'énervent et l'impatientent. Elle permet généralement de donner plus de confortable et même de luxe aux voyageurs, ce qui est sensiblement apprécié par lui, même pour les faibles distances qui sont ordinairement franchies en tramway.

Enfin on peut même dire sans craindre d'être taxé de puérilité, que sa rareté relative est un nouvel attrait pour les masses qui forment la grosse clientèle de ce genre de transport et qui sont souvent séduites par la nouveauté et l'originalité de ces systèmes de locomotion dont le mécanisme leur échappe.

Il faut aussi tenir compte évidemment des circonstances particulières que présentent les régions à desservir : prix des différentes mains-d'œuvre, prix du combustible, prix des chevaux et des fourrages. Il y a des pays, comme le Brésil, le Mexique, la République Argentine où la force motrice revient à un prix très élevé par suite de la cherté du combustible et où, par contre, les animaux (chevaux ou mules) coûtent bon marché d'achat et d'entretien. En outre, dans ces pays, la main-d'œuvre spéciale qui doit être, en général, recrutée parmi des ouvriers européens coûte cher, tandis que les vulgaires manœuvres, les cochers, palefreniers, etc., qu'on peut recruter parmi les gens du pays coûtent très bon marché.

Dans de pareilles conditions la traction mécanique ne peut évidemment être avantageuse et elle est réservée aux chemins de fer véritables. On peut même citer dans ces pays des applications de la traction animale à des réseaux qui, par leur longueur et leur importance, pourraient être assimilés à de véritables chemins de fer vicinaux ; par exemple, le tramway rural de Buenos-Ayres se développant à travers les vastes plaines de la province sur une longueur de près de 400 kilomètres, la ligne d'Esperanza à Téhuacan, au Mexique, longue de 80 kilomètres où la traction se fait par mules, le réseau de tramways de la province de San Paolo, au Brésil, qui emploie le même système de traction, etc.

Toutefois ces circonstances particulières ne se rencontrent guère en Europe où presque partout on trouve le combustible et la main-d'œuvre à des prix raisonnables.

Il faut enfin tenir compte des conditions du trafic et du service qu'il s'agit de remplir. Quand il s'agit de lignes de faible importance, à petit trafic, à profil peu accidenté, desservies par de petites voitures à un cheval, se succédant à intervalles éloignés, la traction mécanique ne peut en général pas lutter. Elle ne trouve pas dans un pareil service l'occasion de déployer ses qualités spéciales et les recettes ne permettent pas de rémunérer la plus-value importante des frais de premier établissement tant en ce qui concerne la voie qu'en ce qui concerne le matériel de traction.

Au contraire, quand il s'agit de lignes plus importantes à profil accidenté, à trafic considérable et irrégulier, les conditions changent complètement. La traction animale est alors coûteuse ; elle nécessite une cavalerie considérable et des installations importantes d'écuries, de magasins à fourrage, etc. ; il lui est impossible de permettre l'amélioration des services, la rapidité de la circulation, l'accroissement du trafic, sans augmenter énormément les frais d'exploitation.

Quand le profil présente de fortes rampes, ces inconvénients sont encore aggravés ; l'effort que peut donner un attelage étant limité, on est obligé pour remonter ces rampes d'employer des chevaux de secours spécialement destinés à ce service, ce qui augmente sensiblement les frais de traction.

La vitesse moyenne est alors très réduite et il en est de même du parcours journalier que peuvent effectuer chaque voiture et le personnel affecté à son service ; l'utilisation de ces voitures et du personnel est donc mauvaise.

Le nombre des places offertes au public est limité et le service ne présente pas de réserve de puissance pour subvenir aux cas d'encombrement quand une fête, une journée de beau temps, une circonstance quelconque amènent sur la ligne un afflux considérable de voyageurs ; aussi voit-on ces jours-là se presser inutilement aux stations des masses compactes qu'il est impossible d'enlever et ce devient un véritable problème pour le malheureux promeneur que de ramener au logis la petite famille qu'il a aventurée trop loin.

L'hiver, la neige, le sol humide et glissant sont la source de nouvelles difficultés ; que de fois ne voit-on pas à ces mauvais moments les tramways, trop chargés de monde, rester en détresse sur les rampes que l'attelage épuisé est dans l'impossibilité de remonter.

Avec les meilleurs soins la mortalité des chevaux ne descend guère au-dessous de 3 ou 4 0/0 par an et il y en a constamment en moyenne de 8 à 10 0/0 à l'infirmerie. Les arrêts et démarrages fréquents leur sont particulièrement funestes et à ce dur service ils s'usent et se déprécient rapidement. Aussi le renouvellement et le bon entretien de la cavalerie grèvent-ils les frais d'exploitation d'une manière très onéreuse.

En raison du poids mort qu'il importe de réduire au minimum, il n'est pas possible de donner aux voitures le confortable que le voyageur pourrait y souhaiter.

La plupart de ces graves inconvénients sont évités par l'emploi de la traction mécanique. Avec celle-ci l'effort de traction n'est plus resserré dans d'étroites limites; on peut au contraire le faire varier suivant les besoins dans des proportions considérables et aborder de très fortes rampes sans ralentir outre mesure. Aussi l'exploitation offre-t-elle une souplesse, une élasticité qu'il est impossible d'obtenir de la traction animale. S'il y a afflux momentané de voyageurs, il suffit d'atteler une ou deux voitures en plus à chaque train et d'augmenter la vitesse pour produire rapidement l'écoulement.

La vitesse moyenne sur les profils accidentés pouvant être très notablement augmentée, il en résulte une utilisation meilleure du matériel et du personnel et plus de satisfaction de la part du public, satisfaction qui se traduit presque toujours par une augmentation sensible du trafic et des recettes.

Quant au prix de revient de la voiture-kilomètre, il est en général moindre, alors que le trafic total et les recettes par voiture-kilomètre augmentent.

Usage des Voitures-Automobiles et des Locomotives.

§ 2. — La traction mécanique peut s'opérer par deux moyens:

1° Au moyen de voitures automobiles portant elles-mêmes les organes nécessaires à leur locomotion.

2° Au moyen de petites locomotives remorquant de véritables trains de une, deux ou trois voitures.

Pour faire le choix entre ces deux systèmes il faut s'inspirer de l'importance du trafic et du nombre de départs qu'il y a lieu d'organiser par heure ainsi que des dimensions et de l'activité de circulation des voies où le tramway doit passer: les intervalles entre les départs doivent être calculés d'après la longueur de la ligne et le parcours moyen du voyageur pour perdre le moins de trafic possible. On comprend aisément, en effet, que pour de longs parcours à effectuer, le voyageur peut attendre sans inconvénient le passage du tramway pendant un certain temps, certain qu'il est de rattraper cette perte de temps par la rapidité avec laquelle le trajet sera effectué. Il en est autrement quand la ligne est courte et le parcours moyen du voyageur faible; une attente un peu longue diminue considérablement la vitesse moyenne du transport et détourne souvent le voyageur de l'usage de la ligne; il est alors de toute nécessité de rappocher les départs pour

attirer tout le trafic possible. C'est en général le cas des lignes urbaines à circulation régulière avec des trajets moyens de faible importance. Il se peut alors que le trafic ne soit pas suffisamment grand pour justifier l'emploi de trains de capacité relativement grande et se succédant à intervalles si rappochés. On peut alors adopter l'automobile qui se prête mieux à ce genre de service, qui circule et manœuvre plus aisément dans les voies étroites et encombrées, ralentissant, s'arrêtant et repartant avec une facilité et une souplesse que ne peuvent égaler ni les tramways à traction animale, ni les trains à traction de locomotive séparée.

Tout le poids étant utilisé pour l'adhérence, les automobiles conviennent mieux au service des profils très accidentés et l'action de leurs freins est plus prompte et plus efficace : la voiture est tout à fait dans la main de son conducteur.

Leur capacité est naturellement beaucoup moins grande, mais en cas d'afflux extraordinaire de voyageurs, il est généralement possible d'ajouter une voiture ordinaire à chaque automobile, ce qui double le nombre de places offertes au public.

Toutes choses égales d'ailleurs, le prix de revient de la voiture-kilomètre est plus élevé pour l'automobile que pour le train de plusieurs voitures, par voiture remorquée bien entendu. Mais la capacité offerte au public est mieux utilisée et il en résulte souvent que l'excédent de dépense est compensé par les suppléments de recettes que des départs plus nombreux peuvent assurer à l'exploitation.

Si, au contraire, l'affluence du public est irrégulière, si, d'autre part, la longueur de la ligne et des parcours moyens des voyageurs sont considérables et qu'on puisse espacer davantage les départs, il est préférable d'adopter l'emploi de locomotives auxquelles on fera remorquer suivant l'heure et l'affluence du public une ou plusieurs voitures.

C'est le cas des lignes vicinales, de celles réunissant les villes à leurs banlieues ou allant de la périphérie des grandes villes vers leur centre.

Quand le réseau est mixte, on a souvent avantage, quand on le peut, à combiner les deux systèmes de traction.

Avec l'emploi de locomotives, les frais de traction par voiture remorquée, principalement ceux de main-d'œuvre et de personnel sont moindres, puisqu'un même machiniste et un même conducteur suffisent alors pour plusieurs voitures.

D'un autre côté, la mise en réparation d'une locomotive ou d'une

voiture n'immobilise que l'une ou l'autre, tandis que la mise réparation d'une automobile immobilise l'ensemble complet.

Enfin, le voisinage immédiat des voyageurs avec le moteur évité, ce qui rend les mouvements plus doux, diminue chances d'accident et est préféré du public.

Choix du système de traction mécanique à adopter.

§ 3. — Une fois la question tranchée entre l'adoption de l'auton bile et celle de la locomotive, le choix se resserre sensiblement les prescriptions diverses des différentes municipalités vienn le limiter encore plus étroitement.

Les considérations qui doivent guider dans ce choix sont natures très diverses ; il y a d'abord la question de l'aptitude système à effectuer régulièrement, sans accidents ni interruptio le service demandé. Puis vient l'examen de la sécurité qu'il p offrir soit aux voyageurs, soit d'une manière générale à tout ce se trouve sur la voie publique ; on doit tenir compte des oppo tions que les riverains ou des tiers quelconques pourraient fa à tel ou tel système en raison des désagréments ou des do mages que son exploitation pourrait leur causer et des difficul qu'ils pourraient ensuite susciter à la Compagnie exploitante.

Puis vient enfin la grosse question, qui n'est jamais prise trop sérieuse considération : celle du prix de revient et des rés tats économiques.

Sauf quelques exceptions, la plupart des systèmes de tracti mécanique possèdent au même degré la faveur du public. Au peut-on dire que, dans les mêmes conditions de fréquence, rapidité et de confortable, le trafic et par suite les recettes ser à peu près indépendants du choix du système ; par conséque le plus ou moins de bénéfices donnés par l'exploitation dép dront alors uniquement du prix de revient de la traction (1).

La meilleure base pour comparer entre eux les différents s tèmes au point de vue financier, réside dans la comparaison prix de revient de la voiture-kilomètre, le travail et les aut

(1) Quand on compare les différents procédés de traction mécanique, on s'attache vent presque uniquement à la question de rendement, c'est-à-dire à la quantité de c bustible brûlé par travail utile. Certes, c'est là un facteur important du prix de revi mais il est loin d'être le seul et d'avoir la prépondérance qu'on lui attribue ; dans l'ig rance des autres facteurs quand les systèmes sont encore peu connus, c'est celui que discute le plus. Mais la pratique ne tarde pas à démontrer que ces discussions n'ava guère qu'un intérêt théorique et que les prix de revient dépendent de conditions be coup plus étendues et complexes.

dépenses de traction variant peu avec le degré de chargement de la voiture, les voitures comparées devant être, bien entendu, de même capacité et de même confort.

Toutefois, ainsi que nous l'avons déjà dit, ces comparaisons sont extrêmement difficiles à établir d'une manière équitable, les prix pour le même système pouvant aisément varier suivant les applications du simple au double par suite des différences dans l'intensité du trafic, dans le prix de la main-d'œuvre et celui des matières premières.

On ne doit pas négliger de faire entrer en ligne de compte l'amortissement des installations fixes et du matériel roulant; et à bénéfice égal par kilomètre voiture on doit encore tenir compte de l'importance des capitaux de premier établissement à rémunérer dans les différents cas.

Cet examen approfondi permet seul d'apprécier d'une manière définitive l'avantage d'un système de traction mécanique.

Classement des différents systèmes de traction mécanique.

§ 4. — Au point de vue du mode d'emploi de la force motrice, les tramways à traction mécanique peuvent se diviser en deux grandes catégories :

1° Ceux dans lesquels l'énergie est produite dans une usine centrale et est transmise aux appareils récepteurs, sans y être emmagasinée, mais au fur et à mesure de sa consommation en suivant toutes les fluctuations de celle-ci ;

2° Ceux dans lesquels le matériel roulant emporte avec lui une provision d'énergie suffisante à son fonctionnement durant un laps de temps déterminé.

PREMIÈRE PARTIE

TRAMWAYS DE LA PREMIÈRE CATÉGORIE

CHAPITRE PREMIER

Tramways funiculaires.

§ 5. — Les tramways de la première catégorie sont particulièrement en faveur aux États-Unis où ils ont reçu en peu d'années de très nombreuses applications. Mais cet exemple n'a guère été suivi

en Europe où, jusqu'à présent du moins, on a paru donner la préférence aux systèmes appartenant au deuxième groupe. Les sytèmes de la première catégorie comprennent principalement :

1° Les tramways funiculaires ou à câble.

2° Les tramways électriques à conducteur le long de la voie.

Tramways funiculaires ou à câble.

§ 6. — Les tramways funiculaires ont été les premiers en date. Mais parmi eux, il y a lieu de faire soigneusement la distinction entre les lignes à câble à « mouvement alternatif » et les lignes à câble à « mouvement continu ».

Les premières sont connues depuis assez longtemps déjà en Europe où elles ont reçu quelques applications spéciales pour l'ascension des hauteurs, alors qu'il s'agissait de racheter de fortes différences de niveau par des lignes courtes et en général rectilignes : telles sont les lignes de Lyon-Fourvières, Lyon-la Croix-Rousse, du Vomero à Naples, etc.

Parfois quand les rampes à escalader se sont trouvées être très considérables, l'emploi du câble a été combiné avec celui de la crémaillère afin d'avoir un supplément de sécurité en cas de rupture du câble; telles sont les lignes bien connues du Giessbach et de Territet-Glion, en Suisse, lignes dans lesquelles l'inclinaison maximum dépasse de beaucoup le coefficient de frottement des roues sur les rails.

Ces applications toutes spéciales rentrent plutôt dans la catégorie des plans inclinés et ne peuvent être considérées comme constituant de véritables lignes de tramways.

§ 7. — Tout autres sont les lignes établies sur la voie publique, desservies par des câbles animés d'un mouvement continu et dont les États-Unis nous offrent tant d'exemples, appliquées aussi bien à des lignes courtes et escarpées qu'à de longs parcours en terrain plat constituant de véritables réseaux urbains.

Ce système est caractérisé par la présence entre les deux rails, d'un câble mis en mouvement d'une manière continue par une machine motrice placée dans une station fixe; ce câble circule ordinairement dans un caniveau souterrain muni d'une rainure longitudinale, où il est guidé, en ligne droite, par des poulies verticales et en courbe par des poulies horizontales ou obliques. La connexion entre le câble et la voiture se fait au moyen d'un appareil nommé « grip » qui lâche ou serre le câble à volonté en

faisant ainsi participer ou non la voiture au mouvement de translation continu de ce dernier.

Ce « grip » est tantôt fixé à la voiture même et tantôt à un truck spécial qui remorque un train d'une ou plusieurs voitures.

§ 8. — Le caniveau où circule le câble constitue une des parties les plus délicates du système. Il a reçu des dispositions variées.

Dans les premières installations à San-Francisco, il était formé de châssis en fonte, reliés aux longrines de rails par des madriers transversaux, et entre eux, à leur partie supérieure, par des poutrelles en fonte ayant la forme d'U et laissant entre elles la rainure longitudinale, parallèle aux rails dont il a été question cidessus.

Le surplus des parois du caniveau est constitué, d'abord par des madriers et ensuite par une tôle cintrée formant le fond de ce caniveau.

Une pareille disposition ne donne pas la rigidité transversale indispensable. Aussi dans les installations plus récentes a-t-on développé en largeur les cadres en fonte de manière à leur faire embrasser les deux rails à leurs extrémités; ils servent alors de traverses à ces rails et constituent avec la voie un ensemble solide et indéformable. Les parois du caniveau sont formées de madriers reliant les différents cadres; elles sont parfois exécutées en maçonnerie de béton.

Ces dispositions n'ont pas suffi dans les pays à hiver rigoureux où des précautions particulières doivent être prises pour que le froid et les gelées n'amènent pas des contractions de la voie et des resserrements de la fente où passe le grip.

A Birmingham les châssis en acier profilé sont noyés dans un massif en béton où se trouve ménagé le chenal. Les rails et les poutrelles de la rainure sont boulonnés aux châssis et, en outre, reliés entre eux par des entretoises rigides en acier assurant l'invariabilité de leurs distances respectives. Des drains sont ménagés de distance en distance pour l'écoulement à l'égout des eaux du caniveau.

Des dispositions analogues ont été adoptées au funiculaire de Paris-Belleville; mais l'ensemble ne présentait pas une rigidité suffisante et les fortes gelées ont produit des contractions assez sensibles pour amener à plusieurs reprises des arrêts du service; depuis la voie a été beaucoup consolidée.

§ 9. — Le câble, en acier, a en général un diamètre de 25 à 30 *mm*, suivant la longueur et la résistance de la ligne. Il est difficile de dépasser le diamètre de 30 *mm* à cause de la raideur considérable à l'enroulement sur les poulies et les tambours. Il repose dans le caniveau sur des poulies à gorge de formes et de dispositions variables suivant que la voie est en ligne droite ou en courbe et que l'expérience seule permet de déterminer d'une manière exacte : ce n'est souvent qu'après beaucoup de tâtonnements qu'on arrive à donner aux poulies de chaque courbe la forme convenable et, après la forme, l'emplacement exact que doit occuper chacune d'elles de façon que chaque brin retombe toujours sur les poulies correspondantes, quelle que soit la tension du câble; leur profil doit donc être, autant que le permet l'espace disponible, dessiné de manière à permettre le plus d'amplitude possible aux variations du déplacement de ce câble et éviter qu'il ne soit jamais chassé hors de la poulie.

Les câbles pèsent de 2,5 à 3 *kg* le mètre courant, soit 5 à 6 *t* le kilomètre de voie. Ils sont en général formés d'une âme en chanvre avec des torons en fils d'acier d'une qualité spéciale afin d'être à la fois souples, résistants, faciles à épisser et de longue durée. La bonne fabrication de ces câbles est très difficile à obtenir; elle est cependant d'un intérêt majeur.

Le poids du câble par mètre courant, augmentant avec la longueur des lignes, on voit que cette dernière est bien vite limitée par les poids énormes qu'il acquerrait. Il en est cependant de 10 à 12 000 *m* d'un seul jet pour lesquelles le câble pèse 70 à 80 *t*; mais alors le travail absorbé par son seul mouvement et par les différentes résistances passives est excessif et le rendement est très mauvais. On ne dépasse pas en général 7 à 8 000 *m* et c'est déjà beaucoup pour peu que la ligne présente quelques sinuosités. Par suite de la raideur des câbles, les sinuosités augmentent beaucoup les résistances passives, une courbe de 90° donnant une résistance additionnelle supérieure à celle de 300 *m* de ligne droite.

A l'usine le câble passe d'abord sur de grandes poulies de renvoi qui le dirigent sur la poulie motrice, puis autour de la poulie d'un tendeur destiné à racheter constamment l'allongement que prend le câble et à lui communiquer une tension fixe au départ. L'adhérence à la poulie motrice est assurée par une garniture en cuir tassée au fond de la gorge et par l'effet même du tendeur.

La vitesse de translation varie entre 9 et 15 *km* à l'heure suivant les règlements des villes et les services à effectuer. Cette vitesse est maintenue constante par le régulateur des moteurs à vapeur quel que soit l'effort de traction développé. Cet effort est particulièrement intense au moment du démarrage.

Quand le mécanicien veut mettre en route, il serre le grip. Le câble continue de glisser dans les mâchoires, mais le frottement qu'il exerce et dont l'intensité dépend de l'énergie du serrage, a pour effet d'entraîner la voiture. Le frottement cesse quand le véhicule a pris la même vitesse que le câble ; l'expérience montre qu'il acquiert à ce moment sa valeur maxima.

Plus le serrage du « grip » est puissant et plus est rapide le démarrage de la voiture ; il peut en résulter des secousses désagréables pour les voyageurs et dangereuses pour la sécurité du câble et des machines motrices. Aussi le mécanicien doit-il apporter une grande attention et un grand soin à cette manœuvre. La durée d'un démarrage varie entre 4 et 8 secondes : dès que la vitesse normale est obtenue, le grip doit être serré à bloc de manière à rendre la voiture solidaire du câble.

On comprend aisément combien doit être rapide l'usure d'un câble soumis à un pareil traitement, quelle que soit d'ailleurs la qualité des matières dont il est constitué. Il s'allonge également au fur et à mesure de son service jusqu'à augmenter de 1 0/0 de longueur. Pour l'entretenir on l'enduit d'une matière qui le protège contre la rouille et maintienne sa souplesse ; c'est en général du goudron végétal pur ou un mélange de goudron, d'huile végétale ou animale et de suif. Ce graissage doit être modéré afin de ne pas rendre le câble trop glissant, ce qui aurait de grands inconvénients pour l'adhérence au grip et sur les poulies motrices.

§ 10. — A San-Francisco, les exploitations par câble sont appliquées dans des rues en ligne droite présentant des rampes allant jusqu'à 150 et même 170 *mm* par mètre. De pareilles rampes ne permettraient l'emploi d'aucun autre système. Nous citerons notamment l'installation de « Clay-street » ; la ligne a une longueur de 1 650 *m* à double voie ; l'écartement des rails est d'environ 1 *m*. Elle présente une rampe continue de 750 *m* s'élevant à une hauteur de 93 *m* au-dessus de l'origine de la ligne.

Le câble de 25 *mm* est actionné à une vitesse de 9 600 *m* à l'heure par deux machines à vapeur de 100 *ch*. Les voitures portent 26 passagers et le truck qui les remorque peut en prendre 18.

Le service se fait de cinq en cinq minutes et le trafic, très actif, atteint un mouvement journalier de 3 à 3 000 voyageurs.

A Chicago, les conditions d'exploitation sont toutes différentes. Les voies sont sensiblement horizontales et la vitesse du câble atteint 15 *km* à l'heure. Une machine de 200 *ch* met en mouvement à la fois 43 trains formés chacun d'un truck et de 2 voitures et pouvant porter ensemble 1 900 voyageurs. Le service se fait en toutes saisons d'une manière satisfaisante et attire un trafic très intense.

L'installation de « Birmingham » a une longueur de 4 800 *m* entièrement en double voie avec des rampes atteignant 70 *mm* par mètre. La voie est divisée en deux sections sur lesquelles les vitesses sont respectivement de 11 200 et 14 400 *m* à l'heure. Les cables pesant 25 *t* sont actionnés par deux machines fixes de 250 *ch* et entrainent des voitures à 42 places munies chacune de leur « grip » et pesant environ 4 000 *kg* à vide. Le service extrêmement chargé et actif se fait avec 20 voitures en semaine et 12 le dimanche; le parcours kilométrique variant de 2 à 3 000 *km* par jour.

§ 11. — D'après la description que nous avons faite de la voie, on comprend aisément que l'emploi d'un pareil système entraine pour l'établissement de la voie à des frais énormes et qui n'ont de raison d'être que dans l'espérance d'un trafic très considérable.

A San-Francisco le coût d'établissement de la voie se serait élevé à plus de 450 000 *f* le kilomètre, non compris les machines. Les chiffres que nous relevons dans les rares installations européennes sont sensiblement de même ordre.

Prenons par exemple la ligne de « Highgate Hill » à Londres. Sa longueur est de 1 150 *m* dont partie à simple voie, avec des rampes de 20 à 40 *mm* par mètre et nous trouvons pour les frais de premier établissement les chiffres suivants :

Voies complètes avec caniveau, câbles, etc. . . .	317 000 *f*
Machines fixes, chaudières et accessoires.	73 000
Matériel roulant.	60 000

Le nombre de kilomètres trains-moyen est d'environ 3 500 par semaine avec un transport d'environ 16 000 voyageurs.

A Birmingham les dépenses de premier établissement ont été les suivantes :

Voies complètes avec caniveau et câbles, etc. . .	1 530 000 *f*
Machines, chaudières et accessoires	161 000
Matériel roulant (20 voitures équipées).	141 000
Bâtiments, bureaux et divers.	443 000

§ 12. — Paris possède aussi depuis 1891 une ligne de tramway funiculaire restée trop célèbre par les nombreux déboires qui ont accompagné ses débuts et qui ont longtemps excité la verve des chansonniers. Cette ligne à voie unique de 1 *m* possède une longueur de 2 000 *m* entre la place de la République et l'église de Belleville, rachetant une différence de niveau de 61 *m*.

Les rampes atteignent 60 à 75 *mm* par mètre dans la rue de Belleville et le tracé extrêmement sinueux présente de nombreuses courbes et contre-courbes de 21 *m* de rayon qui ont beaucoup augmenté les difficultés d'installation. Les travaux de cette ligne ont été exécutés par la Ville de Paris et les essais ont été suivis de nombreux échecs par suite des difficultés dues à la voie unique, aux nombreuses sinuosités et au manque d'installations similaires pouvant servir de modèle ; la force motrice n'a pas été prévue sur des bases assez larges et il est résulté de toutes ces imperfections de grandes difficultés d'exploitation que la Société anonyme chargée de l'exploiter est arrivée à atténuer peu à peu en grande partie jusqu'à obtenir actuellement un fonctionnement à peu près normal.

La voie a 1 *m* de largeur et se compose de deux rails Broca pesant 30 *kg* le mètre courant et deux rails en Z comprenant la rainure pesant 29,5 *kg* le mètre courant. Les châssis espacés tous les mètres sont scellés dans une fosse en maçonnerie où se déplace le câble.

Les voitures au nombre de douze sont très petites et très légères : elles n'ont que 5 *m* de long sur 1,60 *m* de large, pèsent 3 *t* à vide et peuvent contenir chacune 20 personnes. Elles s'attellent par deux à la fois formant un petit train pouvant offrir 40 places. Deux nouvelles voitures actuellement en construction présenteront des dimensions un peu supérieures et des dispositions plus commodes : elles pourront contenir ensemble 55 voyageurs.

Le « grip » qui a été l'objet de plusieurs modifications heureuses, permet de développer un serrage de 5 000 *kg*.

Les voitures sont munies d'un double système de freins à corde et à patins agissant sur les roues et sur les rails de manière à obtenir un arrêt rapide sur les plus fortes pentes. Le démarrage se fait avec assez de douceur, la voiture prenant en cinq ou six secondes sa vitesse de service qui est de 3 *m* à la seconde.

La puissance développée par les machines fixes est en moyenne de 80 à 90 *ch* ; mais elle atteint souvent jusqu'à 160 *ch*,

oscillant brusquement dans des limites étendues. Des expériences ont montré que le seul frottement du câble et des poulies absorbait une puissance de 40 à 50 *ch*.

Le câble de 30 *mm* de diamètre pèse un peu plus de 13 *t*, Son usure est relativement très rapide ; les trois premiers câbles n'ont guère duré plus de trois à quatre mois, correspondant à 50 ou 60 000 *km*-trains. Le quatrième câble fourni par une maison spéciale anglaise paraît donner meilleure satisfaction et on espère obtenir une durée d'un an.

Le prix de chaque câble dépasse 15 000 *f*.

Les poulies, principalement dans les courbes, s'usent assez rapidement et demandent des remplacements fréquents. Aussi l'entretien de la voie est-il très onéreux.

Les frais de premier établissement ont été les suivants :

Immeubles et dépôts.	200 000 *f*
Voie (2 000 *m*).	723 000
Chaudières, machines et installations fixes. . .	115 000
Matériel roulant (12 voitures).	88 000
Divers	34 000
Dépenses ultérieures environ.	200 000
TOTAL.	1 400 000 *f*

Soit la somme énorme de 700 000 *f* le kilomètre.

Les frais d'exploitation par kilomètre-train de deux voitures ont été les suivants :

(Parcours annuel : 216 000 trains-kilom.)

Personnel de conduite et de l'usine fixe.	0,180 *f*
Combustible, graissage, eau, etc., pour force motrice.	0,272
Entretien de la voie (traction)	0,104
Entretien du matériel roulant	0,169
TOTAL	0,725 *f*

Ces dépenses paraissent susceptibles d'une certaine réduction avec de meilleures conditions de fonctionnement.

§ 13. — Comme comparaison nous donnons ci-après quelques renseignements sur les frais de la traction à Highgate Hill et à Birmingham

FRAIS DE TRACTION par KILOMÈTRE-VOITURE	HIGHGATE HILL	BIRMINGHAM
	f	f
Main-d'œuvre et personnel de conduite . .	0,162	0,091
Combustible, graissage et alimentation. . .	0,090	0,060
Entretien du matériel roulant	0,079	0,109
TOTAUX (non compris entretien de la voie).	0,331	0,260

Ces derniers chiffres paraissent relativement faibles ; mais il ne faut pas oublier qu'ils s'appliquent à un trafic très intense, ce qui est une condition d'exploitation avantageuse.

Pour des lignes courtes, rectilignes, remorquant de fortes charges, le rendement du système funiculaire est assez bon. Mais il s'abaisse dès que le trafic diminue ou que la ligne s'allonge. Ainsi dans l'installation de Birmingham où cependant chaque section n'a pas plus de 2 800 *m*, le rendement avec 20 voitures en service est de 65 0/0 environ. Le mouvement du câble absorbe à lui seul plus de 60 *ch*, alors que la puissance nécessaire pour remorquer les 20 voitures chargées n'est que de 130 *ch*.

A San-Francisco le rapport entre la puissance de traction appliquée aux voitures et celle développée aux machines fixes qui était d'environ 35 0/0 a monté à 50 0/0 au fur et à mesure que le trafic augmentait.

A Paris, par suite des sinuosités de la voie, le rendement est plus faible et ne dépasse pas 45 0/0.

Quant à la consommation de combustible, elle est à Birmingham de 2,6 *kg* de houille par kilomètre de voiture, à Highgate Hill d'environ 3 *kg* et à Paris de 3,4 *kg* par kilomètre-train offrant 40 places.

§ 14. — En résumé, la traction par câble est une traction de luxe qui ne peut sous aucun rapport prétendre au bon marché.

Ce système présente quelques inconvénients particuliers ; il est excessivement difficile à établir dans de bonnes conditions quand le tracé est sinueux et reste sujet à beaucoup de causes d'accidents qui peuvent interrompre le service. Quand la vitesse du câble est considérable, le démarrage est parfois assez brutal, ce qui peut occasionner des chocs et des accidents. Ils sont par-

fois assez dangereux dans les rues très fréquentées et sinueuses où ils peuvent être appelés à circuler et leur manœuvre n'est pas aussi souple que celle des tramways ordinaires qui peuvent ralentir ou accélérer leur mouvement à volonté suivant les besoins du moment.

Enfin, et c'est là leur défaut capital, les frais de premier établissement sont énormes et doivent en faire exclure l'emploi de prime abord dans la plupart des cas où un trafic très intense et rémunérateur n'est pas assuré dès les débuts. Il peut toutefois trouver son application rationnelle dans certains cas spéciaux, pour desservir des lignes peu sinueuses, de faible longueur, à grand trafic, surtout quand des rampes considérables rendent difficile et onéreux l'emploi d'autres systèmes. Ils fournissent alors parfois la seule solution possible.

Pour terminer, nous donnons ci-après quelques chiffres moyens sur les conditions comparatives de fonctionnement de quelques lignes à câble et à traction animale, d'après les rapports lus au meeting de Pittsburg en 1891.

	FRAIS d'établissement par kilomètre de voie	NOMBRE ANNUEL de voitures-kilomètres par kilomètre	NOMBRE DE VOYAGEURS PAR AN		PAR KILOMÈTRE-VOITURE	
			Par kilomètre de ligne	Par kilomètre-voiture	FRAIS d'Exploitation	INTÉRÊT à 6 0/0
Lignes à chevaux.	97 320 *f*	43 345	157 385	3,00	0,76 *f*	0,14 *f*
Lignes à câbles.	576 800	309 395	847 480	2,74	0,44	0,22

Le trafic nécessaire pour couvrir les frais d'exploitation et réserver 6 0/0 pour l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement serait de cinq à six fois plus élevé avec les lignes à câble qu'avec celles à traction animale, du moins aux États-Unis.

En Europe où la main-d'œuvre est beaucoup moins chère, où la vitesse tolérée est plus faible, cette proportionnalité serait encore plus grande et moins en faveur de la traction par câble.

Il ne faut pas oublier, en effet, qu'avec les vitesses de 15 *km* admises aux États-Unis, les tramways à câble, de même que les autres systèmes de traction mécanique, permettent à la même voiture d'effectuer par jour un parcours kilométrique moyen beaucoup plus grand qu'avec la traction animale, ce qui donne

une meilleure utilisation du personnel et constitue un point très important dans un pays où la main-d'œuvre est aussi chère qu'aux États-Unis.

En septembre 1890, le développement des lignes à càble dans ce dernier pays dépassait 700 *km*, soit 20 0/0 du développement total des lignes de tramways à traction mécanique.

Le système s'est aussi beaucoup répandu en Australie, où il compte plus de 250 *km*.

CHAPITRE II

Tramways électriques.

§ 15. — Ce système de tramways constitue une des plus intéressantes applications de la transmission de la force par l'électricité. Le principe général sur lequel il repose consiste à produire la force motrice dans une usine fixe et à l'y transformer au moyen de dynamos en énergie électrique qui est transmise par des conducteurs placés tout le long de la voie à des récepteurs électriques portés par la voiture elle-même et qui communiquent aux essieux leur mouvement de rotation.

Les tramways électriques diffèrent donc en principe des tramways funiculaires en ce que l'énergie mécanique, au lieu d'être transmise et utilisée sous sa forme primitive, subit auparavant une transformation ; mais cette transformation facilitant beaucoup la transmission donne des avantages qui peuvent compenser amplement la perte qui en résulte et on peut avoir intérêt à l'employer au même point de vue qu'on en a eu souvent à remplacer les câbles télédynamiques par des transmissions électriques ordinaires.

On peut distinguer dans un pareil système trois parties différentes :

1° La ligne assurant la communication électrique entre les voitures et l'usine fixe ;

2° La production de l'énergie dans l'usine fixe ;

3° Son utilisation dans les voitures.

Nous commencerons par l'étude de la ligne qui est la partie la plus délicate et essentielle du système.

Ligne de transmission.

§ 16. — On rencontre, dès le début, une difficulté spéciale : le récepteur électrique étant en mouvement, le point de prise du courant sur les conducteurs change au fur et à mesure de l'avancement, et il faut cependant assurer constamment une bonne com-

munication entre ces conducteurs et les récepteurs, tout en les isolant soigneusement des corps environnants.

La ligne électrique peut occuper, par rapport à la voie, trois positions différentes. Elle peut être :

Soit aérienne, et placée alors à une forte hauteur au-dessus des rails;

Soit placée au niveau des rails ;

Soit souterraine, au-dessous du plan de la voie.

Ces trois systèmes ont reçu leurs applications; mais le premier et le dernier peuvent seuls convenir aux tramways dont la voie n'est pas installée sur une plate-forme spéciale.

Ligne aérienne.

§ 17. — Dans le premier tramway électrique, installé en 1881, par la maison Siemens, les conducteurs étaient aériens et formés par des tubes creux en laiton, munis vers le bas d'une fente longitudinale de 7 à 8 *mm* et pendus à des câbles en fer. Des câbles souples amenaient le courant à l'électro-moteur en prenant contact sur les conducteurs au moyen de deux curseurs circulant intérieurement.

Ce système fut adopté avec quelques variantes par les premières lignes de tramways électriques qui s'installèrent en Europe, dans l'intervalle 1881-1886, et parmi lesquelles on peut citer la ligne de Francfort-Offenbach (1883), et surtout celle de Vevey-Montreux-Chillon, longue de 10.400 *m*.

Dans toutes ces lignes, les conducteurs sont doubles et formés de tubes creux, en acier ou en cuivre, soudés à leurs extrémités. Ils sont suspendus à des haubans métalliques qui ont pour mission de résister aux efforts mécaniques, et les haubans ainsi que les tubes sont supportés au moyen d'isolateurs, par des poteaux plus ou moins espacés; parfois les haubans ont une âme en cuivre et participent à la conduite du courant. Les appareils capteurs du courant sont toujours des navettes circulant dans les tubes, et parfois pressées contre eux par des ressorts afin d'assurer un contact intime. Nous n'insisterons pas sur ces dispositions ainsi que sur celles plus ou moins ingénieuses adoptées pour les croisements et les aiguillages. Mais on comprend aisément combien un pareil attirail de tubes, de haubans, etc., était dans la plupart des cas d'un emploi peu pratique et d'un aspect peu favorable. Aussi les difficultés qui en résultaient arrêtèrent-elles l'expansion de la traction électrique dans les villes européennes.

§ 18. — Les Américains cherchèrent à réduire les dimensions apparentes des conducteurs aériens; pour cela, ils eurent l'idée de remplacer les tubes creux par de simples fils métalliques de quelques millimètres de diamètre et les navettes de prise de courant par des roulettes ou « trolleys », ces roulettes étant disposées de manière à tendre constamment à soulever le fil.

Dans les débuts, les doubles fils conducteurs, jugés d'abord nécessaires, furent conservés, nécessitant par suite un double trolley; mais la complication qui en résultait amena bientôt les Américains à supprimer le deuxième fil et à établir tout simplement le retour par la terre, comme dans le cas des lignes téléphoniques et télégraphiques.

Tel est le « overhead single trolley system » employé pour la première fois à Minneapolis, en 1886, et qui, depuis, sous le patronage des Compagnies Sprague et Thomson Houston, a eu une si rapide et brillante carrière.

Les promoteurs ont eu surtout la préoccupation d'atténuer un des principaux inconvénients du système aérien en réduisant à leur plus simple expression, au point de vue de l'aspect et du poids, les parties apparentes de la ligne de transmission électrique et ils ont atteint dans la limite du possible le but qu'ils poursuivaient.

Les fils de trolley ont généralement de 7 à 8 *mm* de diamètre; ils sont très fortement tendus de manière à n'avoir pour des portées de 30 à 50 *m*, qu'une flèche insignifiante de quelques centimètres au plus et à paraître ainsi presque rectilignes.

Leur mode de suspension varie beaucoup.

Parfois quand la voie passe au milieu de la rue, ils sont suspendus au moyen d'isolateurs à des fils transversaux en acier, aussi fortement tendus que possible et fixés eux-mêmes, soit à des appliques scellées dans les murs, soit à des poteaux plantés dans le sol de chaque côté de la voie de communication.

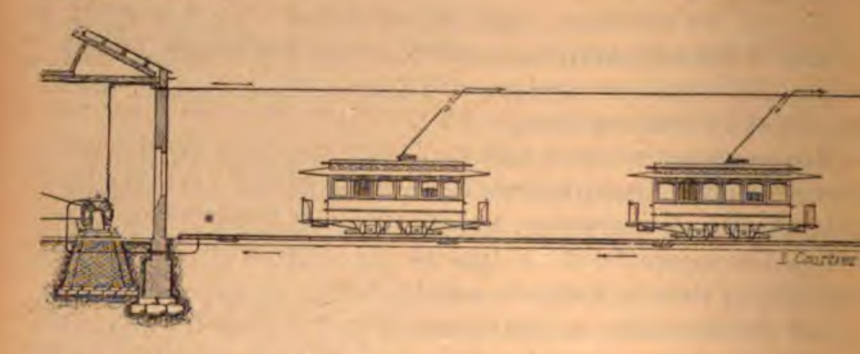
Parfois aussi, quand les rues sont larges et que la voie longe les trottoirs, les fils de trolley sont fixés par des isolateurs à des potences simples ou même doubles quand la voie est elle-même double. Ces poteaux servent aussi à porter, au moyen d'isolateurs, tous les autres fils nécessaires au service de la ligne.

Par suite des grandes tensions des fils, ces poteaux doivent être très solidement scellés dans le sol; dans les courbes ils doivent être beaucoup plus rapprochés qu'en alignement droit.

On a ainsi au-dessus de la voie une résille de fils fins très tendus et aussi peu apparents que possible.

La prise de courant s'opère au moyen d'une poulie à gorge profonde maintenue au bout d'une perche métallique articulée à ressort sur le toit de la voiture, et qui tend à soulever le fil en l'allégeant d'une partie de son poids; la très forte tension du fil et la pression du ressort asssurent un contact très intime avec le galet et empêchent celui-ci de dérailler. L'usure de ce galet est assez rapide.

Un des pôles de la dynamo génératrice est relié au fil de trolley, l'autre au rail, de telle sorte que le courant suit la marche suivante : le fil de trolley, le galet, la perche, le régulateur de vitesse, le moteur électrique, les roues et les rails, d'où il fait retour à l'usine.



Ce système est maintenant le plus généralement adopté, et aussitôt après son apparition il a pris une extension extraordinaire aux États-Unis, où de 1886 à 1893 il a été installé plus de 6 000 *km* de voies d'après ces principes. Depuis deux ans, il a pénétré en Europe, où il commence à faire d'assez rapides progrès quoiqu'il soit loin d'être accueilli avec la même faveur.

Lignes au niveau des rails.

§ 19. — Dans quelques lignes tenant plutôt du petit chemin de fer que du tramway véritable, lignes établies sur une plate-forme spéciale avec rails saillants, on a pu mettre les conducteurs électriques au niveau de ces derniers; ces conducteurs sont formés en général d'U en acier doux ou d'un autre métal bon conducteur et sont supportés par des isolateurs un peu au-dessus de la voie.

La prise de courant s'effectue alors au moyen de brosses métalliques ou de sabots en fonte.

Parmi ces lignes spéciales, nous pouvons citer particulièrement celle de « Portrush » en Irlande, longue de 13 800 *m* et fonction-

nant à l'aide d'une chute d'eau, celle souterraine du City and South London, et enfin la ligne aérienne de Liverpool.

Lignes souterraines.

§ 20. — Les inconvénients de divers ordres que présentent les lignes aériennes ont fait chercher à plusieurs reprises à les remplacer par des lignes souterraines. Il se produit, pour cette application de l'électricité, la même évolution que pour l'industrie de l'éclairage où les conducteurs à lumière d'abord aériens ont été partout remplacés par des conducteurs souterrains malgré l'énorme augmentation qui en est résultée dans les frais de premier établissement et d'entretien. Mais dans le cas de la traction mécanique des tramways, les difficultés sont bien plus grandes et ce problème n'a guère reçu de solution entièrement satisfaisante jusqu'à ce jour.

Il serait trop long d'énumérer toutes les tentatives diverses qui ont été faites, principalement aux États-Unis, et dont finalement aucune n'a réussi malgré les dispositions ingénieuses des inventeurs.

Les deux seules applications de ce système fonctionnant régulièrement ont été faites en Europe : la première à Blackpool, en Angleterre, et la deuxième à Buda-Pesth.

A Blackpool, le chenal est établi dans l'axe de la voie et présente beaucoup d'analogie avec celui des tramways funiculaires, sauf qu'il n'a pas eu besoin d'être aussi solidement constitué. Il est constitué par des châssis en fonte reliés par des longrines en fonte et bois, formant caniveau. Le courant, amené par deux conducteurs, est capté par un appareil spécial et fait retour par les rails après avoir traversé les moteurs.

L'installation de Buda-Pesth, qui se développe sur une étendue de 11 *km*, est particulièrement intéressante. Cette fois, le chenal se trouve sur l'un des côtés de la voie, son axe coïncidant avec celui d'une des files de rails. La voie analogue à la voie Marsillon est constituée par un ensemble de rails avec contrerails laissant entre eux une fente longitudinale par laquelle passe l'appareil capteur du courant.

Les rails, solidement entretoisés entre eux sont assemblés à des cadres en fonte distants de 1,20 *m*, et ceux-ci sont reliés entre eux par une maçonnerie soigneusement exécutée et formant les parois du chenal. L'ensemble est solidement installé et s'est bien maintenu.

Les conducteurs sont formés de deux cornières fixées aux cadres

par des isolateurs. Le courant est capté par des curseurs s'embo
tant dans ces cornières. Le retour à l'usine par les rails n'a pas ét
toléré (1). Cette voie, qui a d'ailleurs coûté fort cher, a bien fon
tionné jusqu'à présent et donné toute satisfaction.

Toutefois, l'exemple n'a pas été encore imité dans aucune vil
d'Europe, par suite des trop grands frais d'établissement et d
l'aléa que l'entretien pourrait donner.

Production de l'énergie dans l'usine centrale.

§ 21. — L'installation fixe à l'usine centrale comporte :

1° Les générateurs et moteurs à vapeur ou les récepteur
hydrauliques destinés à produire la force motrice ;

2° Les machines dynamos qui la transforment en énergie élec
trique ;

3° Les appareils servant au réglage et au contrôle du couran
électrique.

La puissance motrice de l'usine dépend principalement des d
mensions et du nombre de voitures mises à la fois en service.

Quand le profil de la ligne est accidenté, le travail absorbé pa
chaque véhicule varie à chaque instant dans d'énormes propor
tions, la résistance sur une rampe de 6 0/0 étant sept fois plu
forte que celle en palier sur une voie ordinaire ; d'autre part
les voitures en service ralentissent, s'arrêtent ou repartent su
vant les besoins de l'exploitation, produisant ainsi de brusque
changements dans la quantité de courant consommé. Ces varia
tions ont leur contre-coup à l'usine centrale qui doit développer
chaque instant une puissance proportionnelle à la somme de
puissances absorbées par chaque voiture placée dans le circuit

Ce dernier fait se présente aussi pour les tramways funicu
laires ; mais avec ceux-ci, les variations sont rendues moins sen
sibles par la grande importance relative des résistances passive
produites par le mouvement du câble, et dont la valeur est à pe
près indépendante du travail utile consommé.

Avec les tramways électriques il n'en est pas de même et quan
le nombre de voitures en service est faible, on constate des fluc
tuations excessives dans la consommation d'énergie électrique

Les diagrammes d'ampèremètres enregistreurs montrent alor
qu'avec moins de huit voitures en service, et une ligne un pe

(1) Le chenal est en communication tous les 50 *m* avec l'égout pour l'écoulement de
eaux pluviales : son nettoyage se fait tous les matins au moyen d'hérissons mobiles qu
repoussent la boue, les saletés et la poussière jusqu'en des points fixes munis de regard
par lesquels se fait l'enlèvement de ces matières.

accidentée, le travail maximum peut atteindre et dépasser le double du travail moyen.

Les moteurs et les dynamos doivent donc être établis très solidement pour résister à ces brusques soubresauts de puissance.

La distribution du courant aux voitures se fait en dérivation, avec un potentiel à peu près constant aux bornes des électro-moteurs ; par contre le courant suit les fluctuations de la force motrice et son intensité varie d'un instant à l'autre dans des limites excessivement étendues; il n'est pas rare de le voir passer brusquement de 0 à 150 ampères.

Aussi, pour obtenir la constance de la force électromotrice aux bornes des génératrices, ou de préférence aux bornes des réceptrices, on est obligé de munir les inducteurs des dynamos d'un double enroulement en série et en dérivation de manière à augmenter le champ magnétique au fur et à mesure que le débit augmente et que s'accroît en même temps la chute de potentiel dans l'induit et dans la ligne. On dit alors que les dynamos sont hypercompoundées.

La tension généralement adoptée est de 500 volts et l'on admet une perte d'environ 10 0/0 dans la ligne. En conséquence on établit les dynamos génératrices pour donner aux bornes 500 volts à vide et 550 volts au débit maximum.

§ 22. — Pour que l'enroulement « Compound » donne de bons résultats, il faut que la vitesse de la dynamo soit maintenue absolument constante, quelle que soit la charge; par suite les moteurs doivent être munis de régulateurs de vitesse très sensibles, permettant de réprimer tout écart de vitesse supérieur à 2 ou 3 0/0.

On arrive en général à maintenir suffisamment constante, pour les besoins du service, la force électromotrice aux bornes des récepteurs; mais il n'est pas possible d'obtenir assez de fixité pour permettre la charge d'accumulateurs.

Quand les variations de la puissance motrice sont considérables et telles, par exemple, que la puissance maxima puisse rapidement dépasser le double de la puissance moyenne, il est préférable d'adopter des machines à grande vitesse, munies de très lourds volants, actionnant les dynamos par courroies ou même directement. La régulation se fait alors d'une manière plus rapide.

Quand la demande de puissance varie plus régulièrement on peut adopter des machines à marche plus lente et plus économique.

Les idées sont d'ailleurs aussi partagées à ce sujet pour la traction des tramways que pour les installations d'éclairage électrique.

En France, on préfère les Sulzer ou les Corliss, tandis qu'en Angleterre et surtout en Amérique on donne la préférence aux machines à grande vitesse qui s'y construisent sur une très vaste échelle : machines Willans, Mac-Intosh, Westinghouse, Armington et Sims, etc.

§ 23. — L'angle de calage des balais reste immuable quelle que soit la charge. Pour atténuer les étincelles qui en résulteraient au collecteur, on adopte des balais en charbon et on dispose l'excitation de manière à presque saturer le champ magnétique et à le rendre insensible à la réaction de l'induit.

Chaque voiture de 50 places, pesant en charge environ 10 *t*, en service sur une ligne bien installée, absorbe en palier, à une vitesse de 10 à 12 *km* à l'heure, de 6 500 à 7 000 vatts, ce qui correspond en moyenne, avec des déclivités modérées, à un travail de 11 à 12 *ch* à l'usine. Mais la puissance de celle-ci doit être prévue assez élastique pour pouvoir fournir à un moment donné jusqu'à 20 ou 25 *ch* par voiture en service.

La Compagnie Thomson-Houston compte en général :

1 dynamo de 60 kilowatts pour 4 voitures en service ;

1 dynamo de 100 kilowatts pour 7 voitures en service, soit de 13 à 15 000 watts par véhicule en circulation.

Pour les générateurs de vapeur, 12 m^2 par voiture en service sont largement suffisants.

§ 24. — Quand le réseau est peu étendu on peut l'alimenter directement de l'usine. Mais dès qu'il s'allonge, on est obligé, pour éviter une trop grande perte et pour ne pas avoir à donner une trop forte section au fil de trolley, de l'alimenter en différents points judicieusement choisis au moyen de feeders allant directement de l'usine au réseau et dont le rôle est tout à fait analogue à celui des feeders des canalisations à lumière.

Parfois même la ligne est sectionnée en plusieurs tronçons alimentés chacun par leur feeder, la résistance de chaque feeder étant calculée de manière à avoir la même chute de potentiel en tous les points d'alimentation.

On arrive ainsi à desservir de très vastes réseaux avec un fil de trolley de 8 à 9 *mm* de diamètre.

Quand la consommation de courant est très grande, afin de ne

pas multiplier outre mesure le nombre des feeders, on soulage parfois le fil de trolley au moyen d'un conducteur souterrain de forte section, qui lui est relié de distance en distance.

Les dynamos génératrices, quand il y en a plusieurs, sont couplées en quantité sur la ligne. Cet accouplement est assez délicat à effectuer par suite des forces électromotrices élevées mises en jeu. Chaque dynamo peut aussi alimenter une section séparée du réseau.

Les tableaux de distribution portent tous les appareils permettant d'effectuer les accouplements, de régler, contrôler et mesurer les forces électromotrices et les courants produits et d'assurer la sécurité de l'installation.

Parfois le courant électrique est fourni par une station centrale déjà existante et distribuant la force et la lumière dans la ville. Une pareille combinaison est très avantageuse, car elle donne une bien meilleure utilisation pendant la journée du matériel et du personnel de cette station centrale, ce qui lui permet de fournir le kilowatt à très bas prix.

La tension des dynamos à lumière étant généralement beaucoup trop faible, on doit employer des transformateurs à courant continu permettant de passer des tensions de 125 ou 250 volts employées dans les canalisations alimentant les lampes à incandescence aux tensions de 5 à 600 volts employées pour la traction des tramways. Ces transformateurs peuvent d'ailleurs s'installer en dehors de la station centrale et en tels points du réseau qui seront trouvés le plus favorables.

Utilisation de la force motrice aux voitures.

§ 25. — Chaque voiture porte les moteurs électriques nécessaires à son déplacement. Ces moteurs ne sont autre chose que des dynamos d'une construction spéciale pour les approprier au service qu'elles doivent effectuer.

Le courant passe du rail dans les roues, puis dans les rhéostats de réglage et les appareils de sécurité : coupe-circuit, para-foudre, etc., enfin dans les induits des moteurs, la perche, le trolley et le fil.

Quand les connexions à l'usine centrale sont renversées, il suit la marche inverse. Le sens de ces connexions n'est pas indifférent, ainsi que nous le verrons plus loin.

La différence de potentiel est maintenue à peu près constante aux bornes des moteurs au moyen des dispositions que nous

avons passées en revue, de telle sorte que c'est l'intensité courant qui varie suivant la puissance absorbée.

§ 26. — On sait que le couple moteur développé dans l'ind d'une réceptrice se déplaçant dans un champ magnétique H, un courant d'intensité i, est proportionnel au produit Hi, de te sorte que l'on a : $C = KHi$. (1)

D'autre part, si l'on désigne par :

E, la différence de potentiel dans la ligne ;

ε, la force contre-électromotrice développée dans la réceptric

R, la résistance du circuit ;

On a la relation : $\varepsilon = E - Ri$ (2)

Enfin la force contre-électromotrice ε est proportionnelle champ magnétique H et à la vitesse ω de rotation de l'induit.

Par suite : $\varepsilon = \lambda H\omega$ (3)

Il y a évidemment intérêt à ce que la vitesse de la voitu qui est proportionnelle à ω soit aussi peu affectée que possib par les accidents du profil, ou en d'autres termes que la vites de rotation ω varie peu avec la résistance à vaincre.

§ 27. — Deux cas peuvent se présenter :

1° Le moteur est excité en dérivation.

Dans ce cas le champ magnétique est à peu près constant, su tout quand il est presque saturé, parce qu'alors la réaction l'induit n'a qu'une influence négligeable.

La force électromotrice $\varepsilon = E - Ri$ diminue au fur et à mesu que le courant augmente ; mais si la résistance intérieure moteur est suffisamment faible, la diminution de ε est faible ég lement, par rapport à la valeur de E.

Dans ce cas la vitesse de rotation $\omega = \frac{\varepsilon}{\lambda H} = \frac{E - Ri}{\lambda H}$ est presq constante et l'allure de la voiture se conservera à peu près même quels que soient les accidents du profil.

Par contre l'intensité du courant $i = \frac{C}{KH}$ augmentera propo tionnellement à la résistance du profil et sur de très fortes ramp il pourrait atteindre des valeurs excessives et incompatibles avec sécurité du moteur à moins de donner à celui-ci des dimensio et un poids hors de rapport avec le travail moyen à effectuer.

Aussi n'adopte-t-on presque jamais cette disposition. On préfè

avoir les moyens d'augmenter les deux facteurs H et i dont dépend l'effort statique afin de pouvoir développer une grande puissance au démarrage et sur les fortes rampes sans que le courant dans l'induit atteigne des valeurs exagérées. De plus, avec les fortes tensions employées, l'enroulement en dérivation nécessiterait sur les électros un fil très long, très fin et d'un bobinage délicat et coûteux.

Nous remarquerons en passant que ces considérations n'auraient pas la même valeur pour les lignes à résistance régulière comme les lignes des grands chemins de fer et que l'on pourrait alors avoir grand intérêt à conserver le champ magnétique constant, soit par une excitation en dérivation, soit par une excitation indépendante. Cette dernière disposition, en particulier, a été employée par M. Heilmann dans sa locomotive électrique.

§ 28. — 2° Le moteur est excité en série.

Le couple $C = kHi$ peut alors atteindre la plus grande valeur possible, ce qui assure un démarrage facile et rapide sur les plus fortes rampes.

Pour ne pas avoir de trop grandes variations dans les vitesses en marche normale et pour atténuer la réaction de l'induit, l'enroulement sur les inducteurs est déterminé de manière à produire un champ magnétique très puissant et presque saturé pour l'intensité moyenne du courant. L'angle de calage des balais peut alors être réduit à zéro, sans qu'il se produise trop d'étincelles au collecteur. De plus, cette disposition rend la force contre-électromotrice développée dans l'induit beaucoup moins sensible aux variations du courant.

On a toujours : $$\omega = \frac{E - Ri}{\lambda H}.$$

La vitesse ω dépend de l'intensité du courant. En effet, quand i augmente, le numérateur diminue, tandis que le dénominateur augmente. Pour cette double raison, la vitesse ira en diminuant au fur et à mesure que l'intensité du courant augmentera, c'est-à-dire au fur et à mesure que la résistance de la ligne nécessitera un effort de traction et un couple moteur C plus grands. Remarquons d'ailleurs qu'on est, dans une certaine mesure, maître d'accentuer ou de réduire ces variations en modifiant la résistance intérieure R au moyen d'un rhéostat intercalé dans le circuit.

Quand la résistance du profil diminue beaucoup, l'effort de traction, le couple C et le courant i tendent tous trois à s'annuler.

Alors le champ magnétique diminue très rapidement et la vitesse ω tendrait à s'accroître d'une manière exagérée.

Le rhéostat de réglage permet de limiter cet accroissement de vitesse en augmentant R et réduisant ainsi la force électromotrice aux bornes du moteur. Toutefois, il y a lieu de remarquer que cette manière de faire entraîne une perte qui peut être relativement considérable, et sur certains profils diminuerait beaucoup le rendement moyen.

Remarquons enfin que le rendement électrique du moteur est :

$$\rho = \frac{\varepsilon}{E} = \frac{\lambda H \omega}{E}.$$

Ce rendement dépend beaucoup de la vitesse de rotation ω, car le champ magnétique H ne peut croître au delà de toutes limites; il y a, au contraire, une valeur qu'il ne peut dépasser quelle que soit l'intensité du courant.

Par suite, aux démarrages où la vitesse de rotation ω est presque nulle, et aux points où les besoins du service nécessitent un ralentissement marqué, le rendement ρ est très faible. Il en résulte une perte à chaque arrêt et à chaque ralentissement, indépendamment de la perte de la force vive absorbée par les freins, et la somme de ces pertes cumulées peut atteindre une importance considérable sur les lignes de tramways à arrêts fréquents et diminuer sensiblement le rendement moyen du moteur.

Des expériences intéressantes ont été faites par M. Siemens sur une petite ligne d'essai de 300 *m* environ pour étudier les variations de puissance absorbée sur différents profils et les modifications du rendement à différentes allures. Les résultats trouvés sont consignés dans le tableau suivant : nous devons dire, toutefois, que les rendements mentionnés nous paraissent bien élevés pour être exacts.

Des expériences faites sur les locomotives électriques du *City and South of London* auraient donné pour résultats un rendement de 87 0/0 à la vitesse de 32 *km* à l'heure et de 43 0/0 à la vitesse de 8 *km*.

Le tableau ci-après montre aussi qu'avec des moteurs excités en série, l'intensité du courant est loin d'augmenter proportionnellement à l'effort de traction.

Quand cet effort varie de 101 à 508 *kg*, l'intensité passe de 26 à seulement 68 ampères.

EXPÉRIENCES	I	II	III
Poids de la voiture à vide	4 200 *kg*	4 200 *kg*	4 200 *kg*
— — chargée.	6 735 *kg*	4 575 *kg*	4 575 *kg*
Longueur de la voie d'essai.	312 *m*	30 *m*	30 *m*
Rampe	0	53 *mm*	96 *mm*
Coefficient de traction en palier.	15 *kg*	15 *kg*	15 *kg*
— — total.	15 *kg*	68 *kg*	111 *kg*
Effort de traction en kilos.	101 *kg*	310 *kg*	508 *kg*
Durée du parcours.	51″	8″	14″
Vitesse en mètres par seconde	6,12 *m*	3,75 *m*	2,14 *m*
— en kilomètres à l'heure.	22 *km*	13,50 *km*	7,70 *km*
— angulaire de l'induit.	549 *t*	337 *t*	192 *t*
— — des roues	195 *t*	119,5 *t*	68 *t*
Différence de potentiel aux bornes. . . .	282,5 *v*	266 *v*	260 *v*
Intensité du courant.	26 *a*	54 *a*	68 *a*
Puissance en watts.	7 345	14 364	17 680
Puissance mécanique en chevaux.	8,25	15,50	14,50
Rendement du moteur.	82,5 0/0	79,4 0/0	60,4 0/0
Pertes.	17,5 0/0	20,6 0/0	39,6 0/0

§ 29.—Les voitures de tramways portent tantôt un seul et tantôt deux moteurs, suivant les conditions du profil et de l'exploitation.

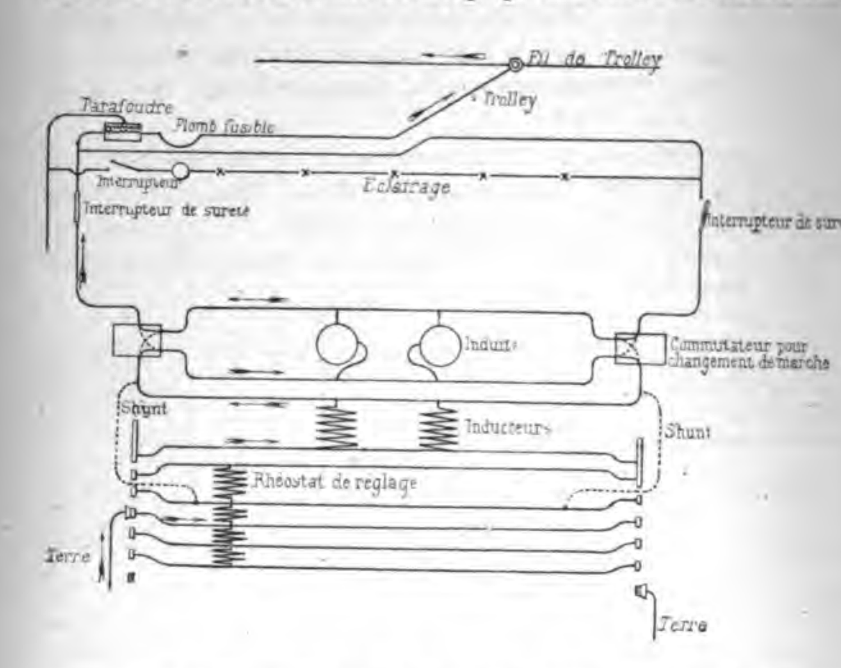
Quand tout le poids adhérent doit être utilisé à un moment donné, soit pour escalader une forte rampe, soit pour remorquer une forte charge, on préfère, plutôt que d'accoupler mécaniquement les deux essieux, les munir chacun d'un moteur électrique. Cette disposition est évidemment plus coûteuse et augmente le poids mort et l'entretien. Mais elle donne plus de sécurité en cas d'accident arrivant à l'un des moteurs, plus d'élasticité et de facilités pour le réglage, car on est libre de fonctionner avec un seul ou avec l'ensemble des deux moteurs.

Nous donnons ci-après un schéma des connexions établies entre les moteurs électriques des tramways de Marseille dont l'installation a été faite par MM. Sautter et Harlé en 1891.

Les deux moteurs sont excités en série et accouplés en quantité. Le réglage se fait au moyen d'une résistance variable intercalée dans le circuit. Pour augmenter la vitesse en palier, on peut « shunter » les inducteurs, de manière à affaiblir le champ magnétique.

Dans le système Thomson-Houston, les deux moteurs peuvent s'accoupler en série afin de réduire les pertes pendant les démar-

rages. Ils peuvent aussi s'accoupler en quantité pour la march normale ou être mis par moitié hors circuit quand la résistance vaincre est faible. L'échelle de réglage est donc très étendue



permet de faire varier dans de grandes limites la valeur du coup moteur.

Les connexions qui peuvent être établies sont les suivantes

1° Les deux moteurs sont en série avec une résistance variabl dans le circuit (c'est la position du démarrage) ;

2° L'un des moteurs est mis hors circuit ;

3° Le moteur resté dans le circuit a son champ magnétiqu shunté ;

4° Les deux moteurs sont accouplés en parallèle ;

5° Le champ magnétique de ces deux moteurs est shunté.

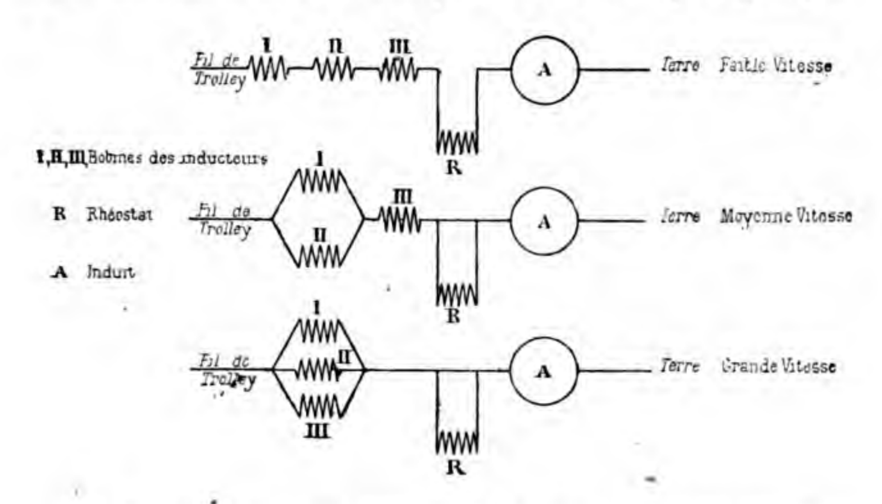
Ces différentes connexions permettent d'aborder dans de bonne conditions tous les accidents de profil et d'augmenter la vitess en palier à volonté. Elles permettent donc de satisfaire à tous le besoins de la pratique.

Sur les longues pentes, on peut séparer les moteurs de la lign et les mettre en court circuit l'un sur l'autre avec une résistanc intercalée. On constitue ainsi un frein électrique agissant ave beaucoup de puissance et de douceur.

En renversant le sens du courant dans l'induit ou dans les inducteurs, on peut arrêter la voiture sur la pente la plus raide et la faire repartir aussitôt en sens opposé.

Dans les moteurs, système Sprague, construits en France par la Compagnie de Fives-Lille, la régulation se fait d'une autre façon qui laisse plus d'indépendance au fonctionnement des deux moteurs.

L'enroulement des inducteurs comprend trois bobines que l'on peut associer en série, ou en quantité, ou par deux en quantité sur la troisième en série, ou mettre hors circuit, etc., de manière à réaliser toutes les variations possibles du champ magnétique.



Les deux moteurs sont presque toujours couplés en quantité, sauf aux démarrages.

Le rhéostat n'est, autant que possible, pas utilisé ; il l'est seulement aux démarrages ou bien sur les longues pentes quand on fait fonctionner les moteurs en dynamos pour former frein.

§ 30. — On dispose les moteurs des tramways de manière à protéger autant que possible leurs organes contre la poussière, la boue et l'eau ; en général, l'induit est enfermé dans une boîte en fonte qui fait partie du circuit magnétique et protège complètement les parties délicates de toute cause d'avaries, ce qui réduit considérablement les frais d'entretien et augmente la durée des appareils. Dans ce genre, on peut citer notamment les moteurs Thomson-Houston du type « Water-proof » bien connu et dont nous donnons quelques dispositions. Les inducteurs bipolaires sont

excités soit par deux, soit même par une seule bobine. Les balai
en charbon sont calés à 90° afin de se prêter aussi bien à l
marche avant qu'à la marche arrière; aucun décalage n'est don
prévu pour la réaction de l'induit.

Les moteurs Sprague construits par la Compagnie de Fives
Lille présentent des dispositions analogues; mais la carcasse e
établie de manière à éviter toute interruption du circuit magné
tique : elle est accessible par le côté au lieu de s'ouvrir par l
dessus. Cette disposition est plus avantageuse au point de vue d
la résistance du circuit magnétique que celle adoptée par l
Compagnie Thomson-Houston.

§ 31. — La vitesse de rotation considérable des moteurs élec
triques nécessite une transmission de mouvement pour la com
mande des essieux. Les chaînes de Galle parfois employées n'or
pas donné satisfaction. On préfère obtenir la réduction de vitess
au moyen d'un train d'engrenages.

On a d'abord employé des moteurs à grande vitesse avec un
double paire d'engrenages et pignons, c'est-à-dire une doubl
réduction; tels étaient les trucks de tramways exposés en 1889
Paris par la Compagnie Thomson-Houston.

Mais un pareil dispositif absorbe beaucoup de puissance pa
frottement et donne beaucoup d'ennuis par l'usure rapide de
pièces et les avaries rendues fréquentes par le grand nombr
d'organes intermédiaires (chaque voiture portant 4 pignons e
4 roues d'engrenage). On s'est trouvé amené à simplifier la trans
mission en la réduisant pour chaque moteur à un seul engrenag
calé sur l'essieu et un seul pignon sur l'axe de l'induit. C'est c
type dénommé « single reduction motor » qui a supplanté défin
tivement le « double reduction motor ». La carcasse du moteu
est fixée d'une part au châssis de la voiture par l'intermédiaire d
ressorts et d'autre part à l'essieu moteur. Les engrenages son
plongés dans un bain d'huile qui atténue les frottements. Cett
disposition a obligé d'adopter des moteurs à marche plus lent
ce qui est un désavantage au point de vue du poids et du rend
ment proprement dit de ces moteurs. La vitesse ne dépasse pa
alors 500 à 550 tours pour des moteurs de 15 à 20 *ch*.

Cette disposition diminue beaucoup les chances d'avarie. Il arriv
toutefois encore assez fréquemment des mises hors de service pa
suite de ruptures de dents d'engrenage; aussi y a-t-il une certain
tendance à supprimer tout mécanisme intermédiaire entre l'essie

et l'électromoteur et à actionner le premier directement par le second. C'est le « gearless motor ». L'induit n'est pas calé sur l'essieu même, mais sur un arbre creux où ce dernier s'enfile et qui est rattaché par de forts ressorts aux roues; les inducteurs reliés au bâti reposent par coussinets sur l'arbre creux. Toutefois des essais précis ont démontré que la suppression des pertes par frottement était amplement compensée par un très notable abaissement du rendement corrélatif de la diminution de vitesse du moteur; aux démarrages et aux ralentissements, les pertes que nous avons signalées plus haut deviennent encore bien plus sensibles, le poids est beaucoup plus considérable, de telle sorte qu'on ne peut encore rien conclure sur les avantages relatifs des deux dispositions. Nous pouvons seulement constater que la disposition à action directe a été adoptée pour la locomotive Heilmann, pour les locomotives du tramway souterrain du « City and South London Railway » et pour les voitures électriques du chemin de fer aérien de Liverpool.

Rendement et consommation de combustible.

§ 32. — Aucune question n'a peut-être été autant discutée que celle du rendement des transmissions électriques et toutes les opinions ont cours à ce sujet.

Le cas qui nous intéresse est plus spécial; il s'agit du rendement des transmissions électriques appliquées à la traction mécanique des tramways, et tout d'abord, il est facile de se rendre compte que ce cas spécial est un des plus défavorables par suite des mauvaises conditions dans lesquelles s'effectue forcément la transmission.

Il ne s'agit pas ici, en effet, de la transmission d'une puissance constante à un moteur fixe, pour laquelle on peut tout disposer à loisir dans le but d'obtenir le maximum d'effet utile.

La puissance à transmettre varie à chaque instant dans d'énormes proportions entraînant des variations correspondantes dans le régime des dynamos et des moteurs; la distribution de vapeur est pour ainsi dire modifiée à chaque coup de piston. Il en est de même du débit des dynamos génératrices et l'allure de ces deux machines se trouve constamment écartée de leur point de marche le plus favorable. Aussi le fonctionnement de l'Usine centrale ne peut être très économique et les pertes qui en résultent sont plus sensibles qu'on ne l'imaginerait au premier abord.

La consommation de combustible n'y descend guère au-dessous de 1,75 *kg* par cheval électrique disponible aux bornes des dynamos

quand les conditions de fonctionnement sont excellentes et elle est souvent bien supérieure à ce chiffre.

La transmission du courant par la ligne peut se faire sans trop grandes pertes si l'isolement de cette ligne est parfait. Dans ce cas, la perte peut être réduite à environ 10 0/0. Mais il n'en est plus de même dès que l'isolement du réseau laisse à désirer. Le moindre défaut est d'autant plus grave que le retour se faisant par la terre et non par une ligne isolée, un seul point faible suffit à produire des pertes de courant considérables. Aussi l'isolement de la ligne à la terre doit-il être l'objet d'une surveillance active et de mesures fréquentes. L'isolement des lignes aériennes se conserve en général très bien.

Quant aux moteurs de tramways, ils ne sont évidemment pas étudiés et combinés pour donner le meilleur rendement, mais bien plutôt pour être robustes, légers, d'un entretien facile et d'un emploi pratique.

Leur rendement à pleine charge atteint en général 70 à 75 0/0, tandis qu'on fait maintenant d'une manière courante des dynamos rendant 90 0/0.

Aux autres allures le rendement est sensiblement moindre.

En outre ces moteurs fonctionnent dans des conditions encore bien plus défavorables que les dynamos génératrices; les fluctuations du courant y sont encore bien plus sensibles, leur vitesse varie à chaque instant et les ralentissements et démarrages sont la cause de pertes importantes.

Pour ces différentes raisons le rendement final de la transmission est toujours faible et il ne faut pas accorder la moindre créance aux chiffres élevés que les intéressés mettent parfois en avant. Tandis que l'on peut obtenir 65 et même 70 0/0 dans des transmissions électriques à postes fixes, des mesures précises effectuées aux États-Unis n'ont pas donné plus de 0,30 à 0,40 pour le rapport entre le travail recueilli aux jantes des roues et celui indiqué dans les cylindres à vapeur; on a souvent même eu beaucoup moins quand les conditions de la transmission laissaient à désirer.

Des mesures précises faites à Milan ont abouti à la constatation d'un rendement de 50 0/0 seulement entre la puissance *électrique* dépensée à l'usine et la puissance mécanique utilisée sur l'arbre des moteurs électriques, ce chiffre de 50 0/0 ne comprenant pas, bien entendu, le rendement de l'ensemble moteur à vapeur et dynamo à l'usine fixe.

Une voiture de 28 places pesant 5 600 *kg* à vide absorbe en moyenne 2 millions watts par kilomètre. Les mesures ont été faites avec 10 voitures en service.

D'autres expériences faites par la Compagnie de Fives-Lille sur les moteurs de tramways qu'elle construit ont donné des résultats de même ordre.

Les moteurs expérimentés étaient des moteurs de 8 kilowatts s'appliquant à des voitures de 28 à 32 places pesant 7 à 8 *t* en ordre de service.

Les résultats consignés dans les tableaux ci-joints donnent les rendements et les puissances absorbées à différentes allures et dans différentes conditions de fonctionnement.

EXPÉRIENCES FAITES PAR LA COMPAGNIE DE FIVES-LILLE

Sur une voiture automotrice de vingt-huit places à deux moteurs de huit kilowatts.

COUPLAGE des BOBINES INDUCTRICES	RAMPES 0/00		VITESSES		NOMBRE de tours de la roue	COURANT absorbé en ampères	PUISSANCE en chevaux	RENDEMENT y compris engrenage
	1 voiture automotrice	1 automobile et 1 voiture attelée	en mètres par seconde	en kilomètres à l'heure				
Les trois en série.	— 7,5	— 10,3	3,4	12,2	84	8	2,7	50 %
	+ 6,1	— 2	2,7	9,7	66	16	6	55
	+ 21,5	+ 7,5	2,1	7,5	51	24	8	49
Deux en quantité sur la troisième en série.	— 5	— 8,9	3,5	12,6	86	10	3,7	54
	+ 12,6	+ 2	3	10,7	72,5	20	8,6	63
	+ 36	+ 14,5	2,5	8,6	61	30	12,6	62
Les trois en quantité.	— 7,5	— 10,4	5,1	18,3	125	10	4	61,5 %
	+ 10,3	+ 0,5	3,75	13,5	92	20	10	74
	+ 29,6	+ 12,4	3,4	12,2	83	30	15,9	78
	+ 48,5	+ 24	3,2	11,5	74	40	20,2	76
	+ 84,8	+ 46,4	2,66	9,1	65	60	27,9	68
	+ 105,1	+ 59	2,45	8,8	60	70	31	65

Rapport des engrenages, 1 : 5.
Tension : 500 volts.
Diamètre des roues : 0,780 *m*.
Voiture de 28 places à deux moteurs de 8 kilowatts.
Voiture attelée de 32 places, pesant chargée 5 000 *kg*.

EXPÉRIENCES FAITES PAR LA COMPAGNIE DE FIVES-LILLE

Sur une voiture automotrice de vingt-huit places à un seul moteur.

COUPLAGE des BOBINES INDUCTRICES	RAMPES 0/00		VITESSES		NOMBRE de tours de la roue	COURANT absorbé en ampères	PUISSANCE en chevaux	RENDEMENT y compris engrenage
	1 voiture automotrice	1 automobile et 1 voiture attelée	en mètres par seconde	en kilomètres à l'heure				
Les trois en série.	— 10,7	— 12,5	3,4	12,2	84	4	1,35	50 %
	— 2,9	— 8	2,7	9,7	66	8	3	55
	+ 5,8	— 2,9	2,1	7,5	51	12	4	49
Deux en quantité sur la troisième en série.	— 9,3	— 11,7	3,5	12,6	86	5	1,85	54
	+ 0,7	— 5,8	3	10,7	72,5	10	4,3	63
	+ 12,5	+ 1	2,5	8,6	61	15	6,3	62
Les trois en quantité.	—10,75	— 11,3	5,1	18,3	125	5	2	61,5 %
	— 0,6	— 6,6	3,75	13,5	92	10	5	74
	+ 10,5	— 0,2	3,4	12,2	83	15	8	78
	+ 21,3	+ 6,1	3,2	11,5	74	20	10,1	76
	+ 42	+ 18,4	2,66	9,1	65	30	14	68
	+ 53,7	+ 25	2,45	8,8	60	35	15,5	65

Rapport des engrenages, 1 : 5
Tension : 500 volts.
Diamètre des roues : 780 *mm*.
Voiture de 28 places, à un seul moteur de 8 kilowatts.

On voit que les rendements les plus élevés correspondent aux fortes puissances, ce qui est une très bonne condition d'établissement du moteur.

Comme on le voit, le rendement a varié suivant la charge de 49 à 78 0/0. Le rendement moyen a été de 60 à 65 0/0, non compris les pertes que donneraient les démarrages et les ralentissements dans un service courant. Nous devons ajouter que ces résultats doivent être considérés comme très satisfaisants et tout à fait en faveur de ces moteurs.

Si l'on tient compte en outre des pertes dans la ligne et du rendement des moteurs à vapeur, transmissions et dynamos à l'usine fixe, on voit qu'un rendement total de 40 0/0 peut être considéré comme un résultat satisfaisant et qu'il est très probable qu'on n'a jamais atteint 50 0/0 même dans les meilleures conditions.

Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, que le système de traction électrique permet de réduire beaucoup le poids mort, ce qui compense dans une forte mesure la faiblesse du rendement ; d'ailleurs le rendement des autres systèmes de traction mécanique n'est guère supérieur.

On voit par suite qu'un cheval-vapeur indiqué dans les cylindres moteurs à l'usine centrale donnera de 100 à 110 000 *kgm* utilisés aux voitures. En admettant une consommation de vapeur de 9 à 10 *kgm* par cheval indiqué et une vaporisation de 7 à 8 *kgm* par kilogramme de houille brûlée, ce qui correspond à de bonnes conditions d'établissement, on voit :

1° Que chaque kilogramme de vapeur dépensée donnera de 10 à 12 000 *kgm* aux jantes des roues;

2° Que chaque kilogramme de houille brûlée en donnera de 70 à 90 000.

§ 33. — En moyenne, le poids mort des organes électriques nécessaires à la traction, y compris le supplément de poids à donner au châssis et aux essieux ne dépasse pas 70 à 80 *kg* par place offerte et l'ensemble de la voiture entièrement équipée ne pèse pas plus de 150 à 160 *kg* par place offerte debout et assise. Les voitures légères d'été pèsent souvent moins.

Les voitures automotrices fermées de 28 à 32 places, type qui est le plus couramment utilisé à l'intérieur des villes, pèsent de 5 à 6 000 *kg* à vide.

Les grandes voitures de 40 à 50 places pèsent de 7000 à 8 000 *kg* à vide.

Ces chiffres sont évidemment faibles pour des automobiles; il y a lieu de remarquer que la tendance a été constamment de les augmenter.

Il en résulte que si on rapporte la consommation du combustible au nombre de voitures-kilomètres ou de places-kilomètres, les résultats sont plus favorables qu'en la rapportant au travail mécanique dépensé aux jantes des roues ou au nombre de tonnes-kilomètres.

Si nous fixons les poids en ordre de service à 10 ou 11 *t* pour les automobiles de 40 à 50 places, et à 7 ou 8 *t* pour celles de 28 à 32 places, et si nous supposons une résistance moyenne de 16 *kg* par tonne, nous en déduisons pour le travail kilométrique aux jantes des roues et la dépense correspondante de combustible, les valeurs suivantes :

1° 160 à 180 000 *kgm* avec une dépense de 2 *kg* à 2 1/4 *kg* de houille par kilomètre-voiture pour des automobiles de 40 à 50 places;

2° 120 à 130 000 *kgm* avec une dépense de 1 2/3 *kg* à 2 *kg* de

houille par kilomètre-voiture pour les petites automobiles de 2
à 32 places.

En réalité, la dépense de combustible est plus grande à caus
des pertes pour l'allumage des chaudières, de la force motric
absorbée par les services divers de l'usine et le courant absorb
par l'éclairage des voitures et des ateliers.

§ 34. — La consommation de houille est d'environ 3,5 *kg* à 4,5 *k*
par cheval dépensé aux jantes des roues, 0,20 *kg* à 0,30 *kg* pa
tonne kilométrique et de 2 *kg* à 3 *kg* par voiture-kilomètre.

La moyenne de six lignes développant ensemble plus de 160 *k*
en exploitation aux États-Unis, a été de 0,25 *kg* par tonne kilomé
trique et 2,1 *kg* par kilomètre-voiture.

A Buda-Pesth, la consommation, depuis l'ouverture de la lign
a varié de 5,4 *kg* à 2,20 *kg* par kilomètre-voiture pour des voiture
de 34 places pesant 4 800 *kg* à vide. Elle a été constamment e
diminuant; la voie est établie dans des conditions exceptionne
lement favorables.

Au chemin de fer électrique aérien de Liverpool, dont l'explo
tation a commencé en mars 1893, la consommation moyenne d
houille, pendant le premier semestre, a été de 5 *kg* par train d
deux voitures, soit 2,5 *kg* par voiture-kilomètre (Les voiture
sont de 57 places). Il y a lieu de remarquer que ces chiffres s'ap
pliquent à un tramway roulant sur une voie horizontale à rail
surélevés et s'arrêtant à des points fixes et non pas suivant l
demande des voyageurs. Dans de pareilles conditions ils peuven
paraître assez élevés.

FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

§ 35. — En ce qui concerne la traction proprement dite, ce
frais comprennent :

1° L'établissement de la ligne aérienne ou souterraine avec se
accessoires;

2° L'installation de l'usine centrale;

3° L'équipement électrique des voitures.

Établissement de la ligne.

Ces frais comprennent :

1° Ceux d'achat et de pose du réseau : poteaux de support
rosaces, isolateurs, câbles d'acier, fil de trolley, aiguillages, etc.

2° L'assemblage électrique des rails et, s'il y a lieu, l'établissement d'un conducteur de retour;

3° L'achat et la pose des feeders nécessaires à l'alimentation du réseau.

L'établissement du réseau proprement dit, comprenant supports, câbles d'acier, fil de trolley et accessoires, revient à :

10 ou 12 000 *f* le kilomètre de voie simple avec poteaux en bois ou rosaces;

16 ou 20 000 *f* le kilomètre de voie simple avec poteaux métalliques.

Pour une ligne double ces prix doivent être augmentés de 3 à 4 000 *f*.

L'établissement d'un conducteur de retour en cuivre nu, noyé dans le sol, y compris la pose, revient, suivant la section du câble, à 2 ou 3 000 *f* le kilomètre.

Quant au prix des feeders, il varie beaucoup suivant qu'ils sont aériens ou souterrains.

Quand la longueur de la ligne ne dépasse pas 4 000 *m*, on peut s'en passer; mais au delà leur emploi s'impose.

Si leur section est faible et ne dépasse pas celle des fils de trolley, on peut, à la rigueur, les faire aériens; mais dès que leur débit augmente, on est réduit à l'alternative d'en augmenter le nombre ou d'en augmenter le diamètre, ce qui est également impossible dans les villes.

On est alors obligé de les faire souterrains, comme les feeders à lumière. Ils doivent être, par suite, isolés et leur prix devient de suite important, soit qu'ils soient constitués par des câbles sous plomb, genre Siemens, noyés dans le sol, soit qu'ils soient constitués par des câbles armés posés dans des caniveaux en poterie. Ce prix dépend, évidemment, de leur section; pour des feeders de 80 à 100 mm^2 il serait d'environ 12 à 16 000 *f* le kilomètre, y compris achat et pose.

Leur développement oscille, en général, entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{5}$ de celui du réseau, suivant la disposition de ce dernier et la situation de l'usine centrale.

En résumé, les frais d'installation d'une ligne aérienne pour traction mécanique des tramways ressortent à environ 20 ou 30 000 *f* le kilomètre de réseau.

Ces chiffres sont évidemment des moyennes et n'ont rien d'ab-

solu, car ils peuvent varier dans de grandes limites suivant l'importance, le luxe et la disposition des installations.

Les installations de lignes souterraines sont bien autrement coûteuses; les frais de premier établissement pour une ligne dans le genre de celle de Buda-Pesth dépasseraient, dit-on, 200 000 *f* le kilomètre, pour la seule partie électrique, non compris l'etablissement métallique de la voie proprement dite.

Installation de l'usine centrale.

§ 36. — Cette installation comprend les générateurs à vapeur, les moteurs, les dynamos et accessoires et enfin les bâtiments d'usine, le tout prévu, en général, sur les bases suivantes :

Chaudières : 10 à 12 m^2 de chauffe par voiture en service.
Moteurs : 18 à 22 *ch* de force par voiture en service.
Dynamos : 14 à 15 kilowatts.
Non compris la réserve.

Cet ensemble revient, pour des installations moyennes de 8 à 20 voitures en service, à environ 11 000 *f* par voiture, ainsi répartis :

Générateurs, moteurs et accessoires.	6 000 *f*
Dynamos et appareils électriques	5 000 *f*

Quant aux bâtiments d'usine évalués sur la base de 80 à 100 *f* le mètre carré couvert, ils reviennent à environ 3 000 *f* par voiture en service.

Tous ces chiffres devant être augmentés d'au moins 35 0/0 pour tenir compte des machines de réserve indispensables, nous voyons qu'en moyenne, les frais de premier établissement de l'usine centrale peuvent ressortir à 18 ou 20 000 *f* par voiture en service.

Équipement électrique des voitures.

§ 37. — Au début, on a fait les voitures électriques beaucoup trop légères, principalement en ce qui concerne le châssis et les roues. La tendance maintenant est de les faire de plus en plus fortes et solides, même au prix de sacrifices sur le poids mort.

Les voitures de 50 places étudiées par la Compagnie Thomson-Houston pèsent de 7 500 à 8 000 *kg* à vide. Les voitures de 30 places pèsent de 5 000 à 6 000 *kg*.

Le prix des premières varie de 20 à 25 000 *f*, tout compris. Mais il y a lieu de tenir compte du poids et du prix de la voiture ordinaire à voyageurs de même contenance qu'elles remplacent

et qui s'élèvent de 5 à 7 000 *f* pour des voitures de 3 500 à 4 000 *kg*. Par suite, l'équipement électrique des voitures amène une surcharge de 3 500 à 4 000 *kg* et une plus-value de 15 à 18 000 *f*.

Ces chiffres s'entendent pour des voitures à deux essieux et à deux moteurs à simple réduction de 15 *ch*, offrant 50 places debout et assises.

Le prix des petites automobiles de 28 à 32 places est naturellement moindre; il varie de 15 à 18 000 *f* dont seulement 11 à 12 000 pour l'équipement électrique.

On prévoit, en général, un quart de voitures en plus que le nombre strictement nécessaire au service, pour les réserves et les réparations, ce qui porte les frais d'équipement électrique des voitures à 18 ou 20 000 *f* par voiture en service de 50 places.

§ 38. — Les frais de premier établissement peuvent alors se résumer comme suit :

Ligne aérienne : 20 à 30 000 *f* le kilomètre de voie.
Ligne souterraine : environ 100 000 *f* le kilomètre de voie.
Matériel fixe et roulant : 36 à 40 000 *f* par voiture en service.

Chaque voiture peut faire, en 15 heures de travail, un service actif journalier, de 140 à 160 *km*, selon les conditions de vitesse imposées ou autorisées.

Il peut être intéressant de tout rapporter à la même unité : soit au kilomètre de voie, soit au nombre de voitures en service. Il faut alors faire une hypothèse sur l'activité du trafic. En supposant successivement que le nombre de voitures en service par kilomètre de voie soit 1, 2 et 3, nous avons trouvé les résultats moyens contenus dans le tableau ci-joint:

Par voiture en service :

	Matériel fixe et roulant	Frais de la ligne			Totaux		
		1 voiture par kilom.	2 voitures par kilom.	3 voitures par kilom.	1 voiture par kilom.	2 voitures par kilom.	3 voitures par kilom.
Ligne aérienne	38 000	25 000	12 500	8 300	63 000	50 500	46 300
Ligne souterraine. . . .	38 000	100 000	50 000	33 000	138 000	88 000	71 000

Ce tableau montre que l'influence de la ligne diminue au f
et à mesure que le trafic augmente, ce qui permet de faire pou
cette ligne des sacrifices plus grands.

A l'appui de ces chiffres, nous donnons ci-après les dépenses d
premier établissement du tramway électrique de Marseille, ayan
une longueur de 6120 *m* entre le cours Belzunce et Saint-Loui
et dont l'installation électrique a été faite par MM. Sautter
Harlé.

Voie.		360 000 *f*
Établissement de la ligne.	180 000 *f*	
Dépenses nécessitées par le téléphone .	70 000	
		250 000
Bâtiments d'usine.	85 000	
Moteurs, Chaudières et Dynamos . . .	195 000	
		280 000
Dix-huit voitures entièrement équipées.		364 000
Remises et voies de service		46 000
Bâtiments d'administration et frais généraux . .		145 000
Total . .		1 445 000 *f*

Soit environ 235 000 *f* le kilomètre et 80 000 *f* par voiture au
tomotrice.

L'installation à Bruxelles de la ligne allant de la place Roupe
la petite Espinette, sur une longueur de 9 900 *m* dont 2 200
double voie, a nécessité les frais suivants :

1° Achat de 12 voitures automotrices de 35 places.	264 000 *f*
2° Installations électriques fixes pour la traction.	424 000
Total . .	688 000 *f*

Soit environ 70 000 *f* par kilomètre de voie et 68 800 *f* par vo
ture automotrice en service, en comptant 10 voitures mises à
fois en service sur les 12.

Frais d'exploitation.

§ 39. — Les tramways électriques ont été jusqu'à présent su
tout exploités aux États-Unis et les renseignements que l'on po
sède sur ces frais d'exploitation sont assez vagues ; il y a d'énorme
différences dans les résultats financiers des différentes Comp
gnies, différences qui sont, à vrai dire, en partie justifiées par d
grandes différences dans les conditions d'exploitation : étendu

du réseau, activité du trafic, prix du combustible et de la main-d'œuvre.

Ci-après, nous donnons les résultats d'exploitation de la Compagnie des Tramways de Cincinnati et de la Compagnie Edison à New-York, d'après les renseignements officiels fournis par ces Compagnies.

RÉPARTITION DES DÉPENSES DE TRACTION EN CENTIMES PAR KILOMÈTRE-VOITURE	TRAMWAYS CINCINNATI	COMPAGNIE EDISON
	cm	*cm*
Entretien de la ligne et de l'usine.	0,4	1,5
Entretien du matériel roulant	4,4	6,1
Prix de la force motrice.	10,2	6,6
Personnel de conduite	7,2	6,7
TOTAUX	22,2	20,9

Ces chiffres s'appliquent à des voitures légères pesant 4 *t* à vide, en service 15 à 20 à la fois et effectuant chacune de 160 à 180 *km* par jour.

§ 40. — Nous avons réuni dans le tableau suivant les relevés mensuels des frais d'exploitation de l'immense installation électrique de Boston pendant l'année 1891, installation comprenant plus de 200 *km* de voie et 500 voitures en service.

RÉPARTITION DES DÉPENSES EN CENTIMES PAR KILOMÈTRE-VOITURE	AVRIL 1891	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
Puissance motrice	24	26,6	22,8	21,8	21,9
Entretien	4,3	4,1	3,7	3,6	4,9
Personnel.	22,8	22,9	22,6	21,6	21,4
Dommages	2,3	2,8	0,5	0,4	0,7
Autres dépenses.	14,4	14,2	13,9	16,4	15,6
TOTAUX	67,8	69,6	63,5	63,8	64,5

Ces chiffres s'appliquent à des voitures pesant de 6 à 8 *t* à vide et effectuant un parcours journalier de 150 à 160 *km*.

Enfin le tableau suivant représente, d'après des renseignements fournis en 1891 au meeting de Pittsburg, les dépenses d'exploitations de 22 lignes électriques développant ensemble 300 *km*, de

longueurs variant de 6 à 82 *km*, ayant de 5 à 40 voitures en service effectuant de 120 à 240 *km* par jour.

RÉPARTITION DES DÉPENSES EN CENTIMES PAR KILOMÈTRE-VOITURE	MAXIMUM	MINIMUM
Entretien des voies et du pavage	5,77	0,31
— de la ligne	2,95	0,03
— de l'usine centrale	2,67	0,16
— des voitures	16,24	1,83
Force motrice : main-d'œuvre et combustible.	15,35	1,49
Personnel de conduite et de surveillance. .	29,36	8,49
Frais généraux	9,15	2,45
TOTAUX DES DÉPENSES. . . .	71,27	24,15

D'après ces renseignements, les dépenses moyennes de traction proprement dite ressortiraient ainsi :

Entretien de la ligne et de l'usine centrale en centimes.	1 50
Force motrice : salaires et combustible.	6 10
Entretien du matériel roulant	6 60
Personnel de conduite	6 60
TOTAL en centimes par voiture-kilomètre. . .	20 80

le prix du charbon variant de 5 à 19 *f* la tonne et la main-d'œuvre de 0,50 *f* à 1 *f* l'heure.

Ces chiffres ne comprennent pas l'amortissement des machines fixes et du matériel roulant.

En pratiquant cet amortissement à raison de 10 0/0 sur les chaudières, moteurs, conducteurs électriques et électromoteurs et à raison de 5 0/0 sur les dynamos et leurs accessoires (ce qui nous paraît tout à fait insuffisant), ces frais d'amortissement grèveraient le prix de revient de la voiture-kilomètre d'environ 0,067 *f*, ce qui élèverait le total des frais de traction à 0,275 *f*.

Les conditions d'exploitation des lignes américaines sont trop différentes de celles admises en Europe, surtout en ce qui concerne les vitesses tolérées et les réductions de personnel, pour pouvoir servir de base à une comparaison.

Lignes européennes.

§ 41. — La plupart des installations de tramways électriques en Europe sont encore trop récentes et trop peu nombreuses pour

qu'on puisse tirer des conclusions absolues des résultats de leur exploitation. Nous jugeons toutefois intéressant de donner quelques renseignements sur quelques-unes d'entre elles, établies dans des conditions complètement différentes.

DÉSIGNATION DES LIGNES	VEVEY-MONTREUX	CLERMONT-FERRAND	BUDA-PESTH
	cm	*cm*	*cm*
Entretien de la ligne et de l'usine . . .	0,9	1,2	0,9
Force motrice	7,6	10,3	7,1
Entretien du matériel roulant.	5,7	4,4	7,2
Personnel de conduite	6,2	8,1	4,6
DÉPENSES TOTALES par kilomètre-voiture.	20,4	24,0	19,8

La ligne de Vevey-Montreux est exploitée par force hydraulique.

Les deux autres sont exploitées par machine à vapeur : la ligne de Buda-Pesth est à conducteur souterrain et les deux autres à fil aérien.

§ 42. — Nous ajoutons à ces renseignements quelques détails sur les tramways de la ville de Halle, où la traction animale a été remplacée, en 1891, par la traction électrique, système Sprague.

Longueur de la ligne, 7 700 *m*.

Rampes nombreuses de 25 à 48 *mm* par mètre.

	EXPLOITATION ANIMALE	TRACTION ÉLECTRIQUE
Nombre de kilomètres-voiture.	755 520	799 444
Dépenses d'exploitation :	pf	pf
Frais du personnel.	8,93	8,39
Frais généraux (y compris loyer)	1,93	2,27
Entretien de la ligne et des immeubles. . .	0,32	0,41
— des voitures	0,77	1,34
Chevaux et harnais	9,72	»
Force motrice	»	2,94
DÉPENSES TOTALES. . .	21,67	15,35
RECETTES par kilomètre-voiture . .	20,83	25,10

Ces chiffres s'appliquent à des voitures de 34 places pesant environ 6 *t* à vide. Le profil est très accidenté.

§ 43. — Le prix de revient de la traction électrique sur les tramways de Marseille aurait été de 0,25 *f* à 0,28 *f* le kilomètre-voiture pour des voitures de 50 places pesant 6 500 *kg* à vide. A Milan le prix de revient de la traction serait de 0,275 *f* la voiture-kilomètre. A Dresde, sur une ligne en entier en palier, à laquelle le courant est fourni par une station centrale, ce prix aurait été de 0,195 *f*. Ces chiffres s'appliquant à de petites automobiles de 28 à 30 places.

Au chemin de fer électrique aérien de Liverpool, le prix de revient de la traction a varié de 0,21 *f* à 0,24 *f* par voiture-kilomètre de 56 places.

Ces différents chiffres ne comprennent pas, bien entendu, l'amortissement. Les grandes Compagnies d'électricité garantissent en général un prix de revient de la traction inférieur à 0,25 *f* ou 0,30 *f* par kilomètre-voiture, ce prix comprenant l'entretien et le fonctionnement de l'usine, des moteurs, de leur transmission, celui de la ligne, les dépenses de force motrice, les salaires des conducteurs-machinistes et l'entretien du matériel roulant. Il ne comprend pas l'amortissement.

En supposant cet amortissement pratiqué à raison de 10 0/0 sur les machines fixes et les équipements électriques des voitures et évaluant les dépenses de premier établissement de ce chef à 30 ou 35 000 *f* par voiture en service effectuant un parcours kilométrique annuel de 45 à 50 000 *km*, les charges qui résultent de cet amortissement ressortent à 0,065 *f* à 0,070 *f* par voiture-kilomètre.

Le fil de trolley s'use assez rapidement ; il doit être remplacé à peu près tous les six ou sept ans. Cette usure provient non seulement de l'action mécanique des galets, mais surtout de celle beaucoup plus destructive des étincelles électriques qui jaillissent entre le galet et le fil, aussitôt que le contact n'est plus parfait entre eux.

L'amortissement de la ligne supposé pratiqué à raison de 5 0/0 avec un parcours kilométrique annuel de 100 000 *km* par kilomètre de ligne revient à environ 0,0125 *f* par kilomètre-voiture.

On voit, par suite, qu'avec la traction électrique par fil aérien, la charge totale d'amortissement correspondant à la traction peut être estimée en moyenne à 0,08 *f* par kilomètre-voiture.

Nous reviendrons plus loin sur cette importante question de

l'amortissement, sur laquelle on ne peut être encore bien fixé en Europe, car l'expérience ne dure pas depuis assez longtemps pour qu'on puisse apprécier exactement la durée des moteurs électriques, lesquels constituent un facteur important des frais de premier établissement.

Avantages et inconvénients de la traction électrique.

§ 44. — Les tramways électriques ont pris un très grand développement aux États-Unis et ils commencent à se répandre rapidement en Europe. En France, plusieurs installations viennent d'être terminées depuis peu ou sont en cours d'exécution, comme les lignes de Bordeaux au Bouscat, de Lyon-Oullins, de Marseille à Saint-Louis, les réseaux du Havre, de Roubaix-Tourcoing, etc. Hors de France : les réseaux de Hambourg, de Bruxelles, de Buda-Pesth, les lignes de Remschied, Halle, Brême, Milan, etc.

Cette rapide faveur est évidemment méritée par les efforts intelligents des puissantes Compagnies d'électricité qui ont monopolisé et lancé ce système, et par les avantages de ce mode de traction, cher de premier établissement, mais souple, rapide et agréable, infiniment supérieur à tous les points de vue à la traction animale, qu'il est, en général, appelé à remplacer.

Ce système se prête admirablement à la circulation à l'intérieur des villes de voitures automobiles de toutes dimensions; il possède une élasticité assez grande pour desservir presque toutes les rampes que les conditions d'adhérence permettraient d'aborder, c'est-à-dire jusqu'à 10 à 11 0/0 pour les automobiles à deux moteurs.

Il est également très facile à ces automobiles de remorquer des voitures ordinaires quand l'intensité du trafic et les besoins du moment peuvent le demander.

Le parcours journalier, à égales conditions de vitesse maxima, est plus considérable qu'avec tous les autres systèmes, ce qui permet d'obtenir une très bonne utilisation du matériel et du personnel.

Enfin le prix de revient de la traction est faible; on peut même dire que dans beaucoup de cas ce système paraît être le plus économique, surtout quand la puissance motrice est empruntée à une chute d'eau ou quand la même usine fournit la lumière et le courant nécessaire à la traction.

Mais ces avantages incontestables ne sont pas sans être balancés par quelques graves inconvénients dont la pratique n'a pu

encore déterminer l'importance exacte, et qui ne laissent p
que d'être particulièrement embarrassants à l'intérieur des ville

En premier lieu, l'aspect des réseaux de fils aériens est p
agréable à l'œil et n'en fera que bien difficilement admett
l'emploi dans la plupart des grandes villes soucieuses de le
esthétique. On peut éviter cet inconvénient par l'adoption
lignes souterraines; mais alors les frais de premier établisseme
augmentent démesurément et l'adoption de la traction électriq
n'a vraiment plus de raisons d'être plausibles. De plus, le b
isolement devient beaucoup plus difficile à obtenir et il fa
renoncer aux tensions de 500 volts pour réduire le voltage à 2
ou 300 volts au plus. L'installation de Buda-Pesth n'a donné
bons résultats qu'à cette condition. Il y a lieu de remarquer q
la Compagnie exploitante, perdant, à la fin de sa concession,
propriété de tous les travaux effectués sur la voie publique,
intérêt à restreindre dans la mesure du possible cette catégor
de dépenses.

§ 45. — Les autres inconvénients proviennent, pour la plupa
des actions électriques des courants circulant dans les condu
teurs du réseau.

La tension généralement employée est de 5 à 600 volts. Cet
tension est déjà élevée et nécessite des isolants beaucoup pl
efficaces que ceux employés dans les installations à lumière. Le
action, mortelle pour les chevaux, ne paraît pas l'être pour l
personnes humaines bien constituées; toutefois, on cite quelqu
accidents suivis de mort sans qu'on ait jamais pu détermine
d'une manière précise, si la mort était due ou non à l'action d
courant. Rien n'est d'ailleurs plus variable et plus capricieux q
l'action physiologique des courants à haute tension, et il est bie
difficile de préciser la limite à laquelle ils perdent leur caractè
meurtrier, cette limite dépendant beaucoup de l'organisme d
individus comme certains exemples d'électrocution l'ont trop bie
montré.

De toute façon, il y a évidemment quelque inconvénient à dis
poser à quelques mètres au-dessus de la voie publique des résea
de fils dont le contact ou seulement le mauvais isolement pe
amener de fâcheux résultats pour la sécurité des passants; o
doit, toutefois, ajouter que l'isolement des lignes aériennes
maintient remarquablement bien.

Les perturbations causées par le passage du courant, dans le

lignes téléphoniques placées dans le voisinage, constituent un troisième et très sérieux inconvénient. L'induction produite dans ces fils par les variations du courant est la source de courants parasites accompagnés de bruits insupportables qui rendent les communications téléphoniques totalement impossibles. On a essayé toutes sortes de remèdes à ce défaut, mais on n'a pas trouvé d'autres palliatifs que d'éloigner le plus possible les conducteurs électriques des fils téléphoniques et de doubler ces derniers, palliatifs qui entraînent malheureusement à de fort grandes dépenses.

§ 46. — En dernier lieu, nous devons signaler les graves dommages causés par l'emploi de la terre comme retour de courant, aux canalisations métalliques avoisinant la ligne de tramway.

On sait que, dans le système à fil aérien, l'un des pôles de la dynamo est relié au fil de trolley, et l'autre à la terre, le retour du courant se faisant par les rails.

Dans les débuts, on crut que ces rails, grâce à leur forte section, offraient au courant de retour un chemin facile jusqu'à la station centrale; mais la discontinuité de ces rails aux éclissages ne tarda pas à donner beaucoup de mécomptes et à causer des dérivations importantes par la terre vers les grandes masses métalliques voisines: tuyaux de gaz, conduites d'eau, câbles téléphoniques, etc. Il en résulta des phénomènes d'électrolyse d'un caractère très variable suivant la nature des terrains, et qui, dans beaucoup de villes, causèrent à ces conduites des dommages très sérieux et amenèrent des protestations très vives de la part des intéressés.

On a cherché à atténuer ce défaut en établissant entre les rails des connexions électriques plus parfaites, au moyen de fils de cuivre reliant les différents tronçons entre eux et au rail opposé, puis en adjoignant aux rails un conducteur de retour formé d'un câble en cuivre nu à forte section relié, de distance en distance, aux rails et se prolongeant jusqu'à l'usine centrale. On a même relié ce conducteur de retour à l'usine centrale au moyen de plusieurs véritables feeders. Mais ces moyens ne sont guère que des palliatifs.

Les courants électriques se divisant d'après les lois des dérivations électriques n'en suivent pas moins tous les chemins qui s'offrent à eux pour le retour à la dynamo et en particulier tendent toujours à se diriger vers les grandes masses métalliques

formées par ces conduites qui leur présentent une section d'éc lement énorme. Les points par lesquels le courant tend à quit ces conduites deviennent le siège d'actions électrolytiques p ou moins actives qui amènent, plus ou moins rapidement, l corrosion profonde.

L'expérience a montré que de très faibles différences de pot tiel, des fractions de volt même, suffisaient à déterminer attaques très énergiques : on a parfois relevé des différences potentiel de plusieurs volts entre les tuyaux et les rails.

Le bureau des concessionnaires des Voies souterraines de Br klyn a présenté dernièrement au maire de cette ville un rapp qui jette une assez vive lumière sur ces curieux effets de cor sion : des faits analogues ont été observés dans beaucoup d'aut villes où la traction électrique a été installée : Cambridge, India polis, Milwaukee, Boston, etc.

M. Fornham, ingénieur de la « New England Telephone Co pany », a fait des expériences très complètes et très intéressan à Boston, desquelles il a pu tirer les conclusions suivantes l'on trouvera assez inquiétantes :

1° Tous les tramways à trolley unique donnent lieu à action électrolytique et, par conséquent, à une attaque des tuy et câbles dans leur voisinage immédiat;

2° Une fraction de volt de différence entre les tuyaux et la te humide qui les entoure suffit pour occasionner l'attaque;

3° L'assemblage électrique des rails et l'établissement d conducteur de retour à forte section sont des moyens insuffisa pour conjurer le danger;

4° Il est, de même, inutile et coûteux de munir les tuyau protéger de grandes plaques de terre, car la surface d'attaque trop considérable;

5° Un isolement, même soigné, des câbles et tuyaux au moy de brai ne les préserve en rien des actions électrolytiques; n'est pas plus utile de chercher à interrompre leur continu électrique au moyen de joints mauvais conducteurs;

6° Il est préférable de relier le pôle positif de la dynamo au de trolley. Le sens du courant ainsi déterminé est moins pré diciable à la bonne conservation des tuyaux;

7° Le procédé qui a donné les meilleurs résultats consiste relier l'autre pôle de la dynamo à un fort conducteur, relié to

les 30 *m* aux rails et aux tuyaux menacés. Il est bon d'employer un conducteur séparé pour chaque groupe de tuyaux à protéger. Mais il n'est pas du tout suffisant d'établir une simple liaison à l'usine entre ces tuyaux et la dynamo;

8° Les jonctions entre les tuyaux et les rails doivent être l'objet d'une surveillance active et des mesures électriques fréquentes doivent être prises pour s'assurer de l'équilibre de potentiel entre les tuyaux à protéger et les corps environnants.

La Compagnie Nationale des Téléphones en Angleterre et les Sociétés distribuant le gaz et l'eau ont fait une opposition des plus vives au système de traction électrique utilisant la terre comme retour et l'ont empêché de se répandre dans ce pays. La question a été examinée par une Commission parlementaire qui a réglementé d'une manière détaillée les conditions dans lesquelles ce retour pouvait être autorisé et les précautions à observer dans ce cas.

Ces inconvénients perdent évidemment beaucoup de leur gravité pour les lignes suburbaines ou vicinales; mais alors, on n'a plus autant d'intérêt à employer des voitures automobiles et l'emploi de trains peut souvent être plus avantageux.

On n'a pu encore, en Europe, se rendre compte d'une manière exacte de l'importance véritable des objections que nous venons de présenter, la traction électrique n'étant pas employée encore depuis assez longtemps et sur une assez vaste échelle pour que ses inconvénients se soient vivement fait sentir. Il n'y a pas eu jusqu'à présent de réclamations trop vives dans les villes où le système a été installé.

Mais il faut croire que la question a pris un caractère plus aigu aux États-Unis, quand on voit la Metropolitan Traction Company de New York fonder un prix de 250 000 *f* pour l'inventeur d'un système de tramway urbain ayant des avantages équivalents à ceux du système à trolley, sans en avoir les inconvénients.

DEUXIÈME PARTIE

TRAMWAYS DE LA DEUXIÈME CATÉGORIE

CLASSIFICATION

§ 47. — Les systèmes que nous venons de passer en r présentent tous un défaut commun : la dépendance complè immédiate du fonctionnement des voitures de celui de l' centrale et de la ligne de transmission. Un accident surv à l'usine ou à la ligne et empêchant momentanément la pr tion ou la transmission de l'énergie, produit instantanément rêt de tout le service sur le réseau correspondant.

Les voitures sont même dépendantes les unes des autres une certaine mesure, les accidents arrivant à une d'entre pouvant influer sur toutes celles qui sont desservies par la n ligne; de plus, elles perdent tout moyen de locomotion au qu'elles quittent le contact du câble ou du conducteur qu transmet la force et c'est là une gêne considérable pour la fa du service, pour les manœuvres aux points terminus, dan garages, etc.

Aussi, toutes choses égales d'ailleurs, nous semble-t-il p rable de fournir à chaque voiture ou train la puissance n saire à son déplacement pendant un certain temps, de mani le rendre complètement indépendant des autres, à donner pl sécurité à l'exploitation et à éviter toutes causes d'arrêt co et instantané du service.

L'énergie doit alors être « accumulée » sous une forme ou autre dans chaque train ou voiture, en quantité suffisante lui permettre d'effectuer un parcours déterminé entre deux rations de chargement.

Les systèmes de traction mécanique basés sur ce principe ment une catégorie spéciale comprenant notamment :

1° Le système de traction électrique par accumulateurs;

2° Le système de traction par l'air comprimé ;

3° Le système de traction par locomotives à vapeur, com nant lui-même : le système par locomotives à foyer, le sys par locomotives sans foyer, le système par locomotives à foy grand volume d'eau.

Pour ne citer que les systèmes ayant reçu la sanction d'une tique sérieuse et prolongée.

CHAPITRE PREMIER

Traction électrique par accumulateurs.

Avantages et inconvénients du système.

§ 48. — Arriver à supprimer les fils aériens ou souterrains avec tous les embarras qu'ils entrainent, c'est-à-dire supprimer tous les inconvénients de la traction électrique, tout en en conservant les avantages et les agréments, c'est là une idée séduisante et bien faite pour tenter beaucoup de personnes.

Aussi a-t-on cherché, à plusieurs reprises, à la réaliser par l'emploi des accumulateurs, au fur et à mesure que la construction et le fonctionnement de ces derniers allait en s'améliorant.

Dans ce système, au lieu de transmettre à chaque instant à chaque voiture la force de propulsion qui lui est nécessaire, on la munit d'une batterie d'accumulateurs électriques chargée dans une usine centrale et qui lui fournit l'énergie nécessaire à son fonctionnement pendant plusieurs heures après lesquelles on remplace la batterie épuisée par une autre nouvellement chargée et ainsi de suite.

Cette énergie est utilisée et transmise aux essieux par le moyen de moteurs électriques identiques à ceux que nous avons déjà passés en revue.

Ce mode de faire procure trois avantages considérables :

1° Il assure l'indépendance absolue des voitures;

2° Il supprime tout embarras sur la voie publique : poteaux, supports, fils, etc.

3° Il permet la production de l'énergie à l'usine centrale, d'une manière régulière et sans les fluctuations et les à-coups que nous avons signalés dans le système à fil. L'usine centrale peut même fonctionner sans interruption pendant vingt-quatre heures consécutives, ce qui donne une meilleure utilisation du matériel.

Malheureusement, ce système pèche par base, en ce que l'outil principal manque; l'accumulateur idéal, robuste, léger, de grand rendement et de longue durée, capable de supporter sans altération un service aussi dur que celui de la traction des tramways, n'existe pas encore.

De là vient que toutes les tentatives faites pour mettre en pratique ce système de traction, tant en Amérique qu'en Europe,

n'ont été, jusqu'à présent, qu'une suite d'échecs décourageants.

Nous citerons notamment les exploitations faites à Bruxelles, rue de la Loi, au moyen d'accumulateurs Jullien, et à Paris, sur la ligne du boulevard Malesherbes, au moyen d'accumulateurs Philippart, qui ont dû interrompre leur service au bout d'un certain temps de fonctionnement.

Actuellement, on peut citer trois exploitations de ce genre fonctionnant en Europe : celles de la Haye-Scheweningue, en Hollande, de Birmingham, en Angleterre, et des lignes de Saint-Denis à la Madeleine, à l'Opéra et à Neuilly, à Paris.

Nous donnerons quelques détails sur cette dernière exploitation, qui est la plus récente, qui fonctionne régulièrement depuis un ou deux ans et qui paraît résumer tous les perfectionnements compatibles avec l'état actuel de l'industrie des accumulateurs.

§ 49. — Les deux premières lignes ont une longueur d'environ 9 250 *m* chacune, dont moitié à l'intérieur de Paris, et présentent des rampes maxima de 35 à 36 *mm* par mètre sur des longueurs de 2 à 300 *m*.

La troisième ligne, longue de 6 000 *m*, est en entier hors de la ville et à peu près de niveau sur tout son parcours : rampe maxima, 24 *mm*.

Le service se fait, sur chacune des premières lignes, au moyen de 7 voitures automobiles, à impériale couverte de 50 places et, sur la troisième, au moyen de 3 voitures de même type.

Ces voitures, complètement équipées, pèsent de 10 à 11 *t* à vide et environ 14 *t* avec leur chargement complet de voyageurs. Leur particularité la plus saillante réside dans le mode de suspension de la caisse qui repose, par l'intermédiaire de galets, sur deux trucks à un essieu munis de chevilles ouvrières, ces deux trucks étant articulés entre eux à ressorts, de manière à pouvoir converger dans les courbes. Cette disposition, qui augmente un peu le poids mort, est excellente au point de vue du fonctionnement.

Chaque essieu est actionné par un moteur électrique au moyen d'un double train d'engrenages baignés dans l'huile ; la réduction de vitesse est dans le rapport de 12 à 1. Ces moteurs tournant à près de 1 400 tours n'ont pas donné beaucoup de satisfaction par suite de leur trop grande vitesse et il est question de les remplacer par des moteurs à simple réduction tournant à 500 tours.

L'excitation se fait en série.

Les batteries d'accumulateurs sont placées sous les banquettes

des voitures; ces batteries, du système Laurent Cély, ont été fournies par la Société pour le travail électrique des métaux.

Elles se composent, pour chaque voiture, de 108 éléments à 11 plaques contenus dans des bacs en ébonite et ayant les dimensions suivantes :

Surface des plaques : 0,200 *m* $\times$ 0,200 *m*;

Épaisseur : 6 à 8 *mm*;

Poids : 18 *kg* par élément.

Les 108 éléments sont répartis en 4 sous-batteries comprenant chacune 3 caisses de 9 éléments, les éléments de chaque caisse et les 3 caisses de chaque sous-batterie étant groupés en série de telle sorte que chaque sous-batterie contient, en définitive, 27 éléments en tension donnant, à circuit fermé, une différence de potentiel d'environ 50 volts. L'introduction des caisses dans les voitures établit automatiquement les connexions électriques entre tous les éléments des sous-batteries. Au moyen d'un commutateur on peut obtenir les trois couplages suivants des sous-batteries :

1° Les 4 sous-batteries sont groupées en quantité : force électromotrice, 50 volts;

2° Les 4 sous-batteries sont groupées par deux en tension : force électromotrice, 100 volts;

3° Les 4 sous-batteries sont groupées en tension : force électromotrice, 200 volts.

On peut donc faire varier la force électromotrice aux bornes des moteurs et, par suite, leur vitesse de rotation du simple au quadruple, suivant l'effort de traction à développer.

Les moteurs des voitures sont généralement associés en série; toutefois, on peut, au moyen du commutateur, les coupler en quantité, quand on veut obtenir une plus grande vitesse ou obtenir le maximum d'effort de traction.

On peut également renverser le sens du courant dans les inducteurs pour la marche arrière et mettre, au besoin, hors circuit l'un ou l'autre des deux moteurs.

Le service de chaque voiture est assuré par deux batteries dont une est à la charge, tandis que l'autre actionne la voiture.

Chaque batterie pèse environ 3 000 *kg* et peut fournir, sans recharge, un parcours de 55 à 60 *km*.

§ 50. — La charge des batteries se fait sur des bancs formés de madriers goudronnés, supportés au moyen d'isolateurs en verre sur des piles en briques. Le manque de place n'ayant pas permis

de disposer une voie de garage le long de chaque banc de charge ainsi qu'à Birmingham, on effectue la manutention des batterie au moyen de wagonnets roulant, sur des voies Decauville, le lon des bancs et des voies de garage, et ayant leur plate-forme mobil de manière à pouvoir être amenée exactement au niveau de l'intérieur des voitures et des bancs de chargement. Une opératio de chargement nécessite 7 wagonnets; la manutention et le trans bordement se font au moyen de 6 manœuvres qui effectuent 34 char gements et déchargements par jour et parfois même davantage.

Il y a pour la charge 24 emplacements de batteries desservi chacun par un circuit spécial ayant son ampèremètre et so indicateur de sens de courant avec sonnerie avertisseuse.

La charge des batteries se fait sous potentiel constant de 260 volts soit 2,4 volts par élément. Aussi l'intensité du courant de charg varie-t-elle énormément depuis le commencement jusqu'à la fi de chaque charge; au début elle atteint jusqu'à 10 ampères pa kilogramme de plaque, diminue ensuite rapidement, puis plu régulièrement au fur et à mesure que l'élément approche de s saturation. L'intensité moyenne est de 2 à 2,5 ampères par kilo gramme de plaque. On arrête la charge quand la batterie a absorb un nombre d'ampères-heures supérieur d'environ 17 à 18 0/0 celui qu'elle a débité en service. L'indicateur de sens de couran prévient, au moyen de sa sonnerie, aussitôt que le sens tend se renverser, ce qui permet de mettre la batterie hors circuit.

Au point de vue du rendement comme à celui de la durée de batteries, on a tout intérêt à ne pas les laisser épuiser leur capacité entre deux charges, mais à multiplier, au contraire, le nombr de ces dernières.

La durée de la charge est d'environ six heures pour une batterie ayant donné toute sa capacité qui est d'environ 230 ampères-heures.

Le courant de charge est fourni par 3 machines dynamos Desroziers donnant à la vitesse de 600 tours, chacune 230 ampères sou 260 volts, et chaque dynamo est actionnée par courroies par un machine à vapeur de 125 *ch*.

Deux des unités fonctionnent pendant vingt-trois heures pa jour et la troisième pendant six heures.

Le courant de décharge est naturellement très variable suivan la résistance du profil : sur la ligne de Neuilly où les rampe maxima sont de 24 *mm* par mètre, son intensité atteint jusqu'à 62 ampères, soit 3,5 ampères par kilogramme de plaque, et sur le

lignes de la Madeleine et de l'Opéra où les rampes maxima sont de 36 *mm* par mètre, jusqu'à 80 et 90 ampères, soit près de 5 ampères par kilogramme de plaque. Sa valeur moyenne, sur ces dernières lignes est d'environ 35 ampères correspondant à un peu moins de 2 ampères par kilogramme de plaque.

Des intensités aussi élevées avec de pareilles variations du débit, venant se joindre aux trépidations continuelles du mouvement et aux transbordements fréquents, constituent un régime excessivement défavorable à la bonne conservation des accumulateurs.

La Société pour le travail électrique des métaux a entrepris l'entretien et le renouvellement des siens à forfait, à des conditions restées secrètes.

Toutefois les sommes portées à l'article « Manutention et entretien des accumulateurs » dans l'établissement du compte d'exploitation de la Compagnie des Tramways Nord, édifient à cet égard et inspirent des réflexions fort peu encourageantes.

§ 51. — Les installations de la Haye-Scheweningue et de Birmingham fonctionnent à peu près d'après les mêmes principes généraux que celles de Paris-Saint-Denis et ne présentent aucune particularité bien saillante.

Aux États-Unis, différentes tentatives ont été faites sans succès dans la même voie ; dernièrement le système de traction par accumulateurs a été essayé à New-York, mais au lieu des accumulateurs au plomb ordinaires, on a employé les accumulateurs système Commelin-Desmazures, au cuivre et au zincate de potasse.

Chaque voiture contient 144 éléments dont 16 pour l'éclairage et l'excitation indépendante des moteurs et 128 pour l'alimentation des induits. Le poids de chaque élément est de 13 *kg*, sa capacité maxima serait de 350 ampères-heures sous une différence de potentiel de 0,82 volts, soit 22 watts-heures par kilogramme de plaque.

Chaque voiture possède deux batteries : l'une en charge et l'autre en service ; entre deux recharges une batterie peut effectuer 32 *km* permettant de marcher 2 heures et demie à 3 heures avec un débit moyen de 40 à 45 ampères. Les essais n'auraient, paraît-il, pas donné de bons résultats.

D'autres essais se poursuivent actuellement à Liège, sur lesquels nous n'avons pas encore de renseignements.

Frais de premier établissement.

§ 52. — Il est assez intéressant de comparer les frais de premier établissement par le système à fil aérien avec celui par le système à accumulateurs. L'emploi de ce dernier donne peut-être dans l'installation de l'usine centrale une certaine économie provenant de ce que les machines peuvent fonctionner à leur pleine charge pendant vingt-quatre heures consécutives. Toutefois cette économie n'est guère sensible.

En moyenne, l'usine de force motrice pourra être prévue sur les bases suivantes :

Chaudières. . . .	14 à 15 m^2 par voiture de 50 places en service.
Moteurs à vapeur .	16 à 18 *ch.*
Dynamos.	13 à 14 000 watts.

Non compris la réserve nécessaire.

Cet ensemble reviendra à très peu pres au même prix que celui nécessaire pour une installation de même importance par fil aérien.

L'équipement électrique des voitures, accumulateurs déduits, reviendra à peu près au même prix également; il y a toutefois lieu de remarquer que le poids mort étant sensiblement plus grand, les moteurs devront être plus puissants et la construction plus solide, toutes choses étant égales d'ailleurs.

Les frais d'installation de la ligne sont évités ; par contre on a ceux d'achat des batteries et d'installation des bâtiments de charge avec les circuits électriques, les bancs de charge, les voies de garage, les wagonnets, etc., frais que l'on peut estimer à 16 ou 20 000 *f* par voiture en service (en y comprenant la réserve d'accumulateurs nécessaire.)

En résumé, on voit que les frais de premier établissement par le système à accumulateurs sont à peu près les mêmes qu'avec l'emploi du fil aérien pour une intensité moyenne du trafic et un peu plus élevés aux trafics intenses nécessitant 3 ou 4 voitures en service par kilomètre exploité.

A titre de renseignements, nous donnons ci-après les frais de premier établissement de l'installation de Saint-Denis :

3 machines à vapeur Corliss	88 000*f*	
3 chaudières semi-tubulaires.	48 000	
Tuyauterie, réservoirs, puits, pompes.	58 500	
Transmission.	37 000	
3 dynamos Desroziers.	43 500	
Fouilles, fumisterie, cheminées, etc, .	96 500	
Total (non compris les bâtiments).		371 500*f*
44 batteries d'accumulateur	203 000	
Tableau de transmission, bancs de charge.	34 260	
(Non compris bâtiments, wagonnets et voies).		237 260*f*
25 voitures à impériales équipées électriquement		425 000*f*
Total.		1 033 760*f*

Soit un peu plus de 60 000 *f* par voiture en service et environ 6 000 *f* par kilomètre-voiture effectué par heure.

Frais d'exploitation.

§ 53. — Continuons notre comparaison avec le système à fil aérien. Les frais d'exploitation par le système à accumulateurs différeront, toutes choses égales d'ailleurs :

1° Par la plus grande dépense de force motrice.

2° Par l'addition des frais de manutention, surveillance, entretien et renouvellement des batteries, déduction faite de l'entretien de la ligne aérienne.

Les dépenses sur tous les autres articles : personnel de conduite, entretien du matériel fixe et roulant, amortissements, etc., sont absolument les mêmes.

La puissance motrice absorbée est supérieure pour deux raisons :

1° Parce que le rendement total du système est plus faible.

2° Parce que le poids mort des voitures est beaucoup plus élevé (une fois et demie plus environ).

On peut estimer à 30 ou 35 0/0 le maximum du rendement que puisse permettre le système par accumulateurs entre le travail dépensé à la jante des roues et celui indiqué dans les cylindres à vapeur des moteurs fixes. Ce rendement est donc un peu inférieur à celui de la transmission électrique par fil aérien ; toutefois on peut estimer que la différence est compensée par la marche plus régulière des moteurs à vapeur et par la continuité

du fonctionnement évitant les dépenses de combustible pour l'allumage des chaudières.

Il reste donc la différence provenant de l'augmentation du poids mort, d'où résultent non seulement une augmentation correspondante de tonnes-kilométriques à remorquer, mais encore une légère augmentation de la résistance par tonne (les essieux, les fusées devant être plus fortes donnent davantage de frottement).

En moyenne, on peut évaluer à 25 ou 30 0/0 en plus la consommation de combustible supplémentaire.

Voici d'après la Compagnie exploitante les résultats qui auraient été obtenus en 1893 sur les lignes de Saint-Denis à Paris et Neuilly :

Chevaux électriques heure . .	1,38 *ch*	par kilom.-voiture.
Watt-heure de charge.	1015	—
Huile.	0,0036 *kg*	—
Consommation de combustible.	2,3 *kg*	
Effort de traction moyen . . .	170 *kg* par voiture.	

La consommation de combustible nous paraît faible, rapportée à des voitures de 13 à 14 *t* en service et nous ne la donnons que sous toutes réserves ; il en est de même pour la valeur moyenne de l'effort de traction.

On pourrait en déduire le rendement moyen du système. En évaluant à 1,1 *kg* la consommation par cheval-heure indiqué, nous voyons que le kilomètre-voiture nécessite à l'usine une production de :

$$\frac{2,3}{1,1} \times 270\,000 \; kg = 564\,000 \; kgm.$$

Le travail aux jantes des roues serait de 170 000 *kgm*.

Le rendement ressortirait donc d'après ce calcul à près de 30 0/0.

Les frais de manutention, entretien et renouvellement des batteries sont très considérables.

Les frais de manutention pour le chargement des batteries peuvent s'évaluer à environ 0,015 *f* à 0,025 *f* par kilomètre-voiture.

Les frais d'entretien et de renouvellement des batteries sont peu connus, mais on peut se faire une idée des derniers de la manière suivante : il paraît établi que les plaques positives doivent être remplacées en moyenne après un parcours de 15 à 20 000 *km* et que les plaques négatives durent environ le quadruple.

Dans l'installation de Saint-Denis, le poids des plaques positives de chaque voiture est d'environ 1 200 *kg*.

Celui des plaques négatives est d'environ 800 *kg*.

En évaluant les frais de renouvellement à 1,25 *f* le kilogramme de plaque, le prix du kilomètre-voiture est grevé de ce seul chef de 0,10 *f* à 0,11 *f*, non compris les frais de surveillance et entretien.

On peut donc estimer de 0,14 *f* à 0,16 *f* par kilomètre-voiture la plus-value des frais d'exploitation qui résultera de ce chef avec l'emploi des accumulateurs. Cette dépense considérable qui n'a aucune compensation constitue le point faible du système.

§ 54. — Ci-après nous donnons les résultats d'exploitation pendant l'année 1893 des lignes de Saint-Denis à Neuilly et Paris :

Production de force motrice. . . .	0,1841 *f*	par kil.-voiture.
Personnel de conduite.	0,0788	—
Entretien des trucks et des moteurs.	0,0918	—
Dépenses diverses.	0,0090	—
Frais généraux	0,0133	—
Entretien et manutention des accumulateurs.	0,1652	—
Total.	0,5422 *f*	par kil.-voiture.

Nombre de kilomètres-voitures parcourus : 803 293.

Soit 47 200 par voiture en service et environ 20 000 par kilomètre de ligne.

A Birmingham, pendant l'année 1891, les résultats ont été les suivants :

Longueur de la ligne : 4 800 *m*. Nombre de voitures-kilomètres : 221 434.

Personnel pour la traction et l'usine fixe	0,165 *f*	par kilom.-voiture.
Combustible et eau.	0,112	—
Entretien du matériel fixe . . .	0,065	—
Entretien du matériel roulant. .	0,125	—
Dépenses diverses	0,0060	—
Total.	0,473 *f*	par kilom.-voiture.

Ces chiffres sont comme on voit très élevés; ils ne comprennent cependant aucun amortissement ni pour le matériel fixe, ni pour le matériel roulant.

CHAPITRE II

Traction par l'air comprimé.

§ 55. — Ce système rentre dans le même ordre d'idées que le précédent, la seule différence provenant de ce que l'agent de transformation et d'accumulation de l'énergie est l'air comprimé au lieu d'être l'électricité. Le principe est absolument le même.

Les premiers essais d'application de l'air comprimé à la traction mécanique sont dus à M. Andraud. Ils ne donnèrent pas de résultats pratiques par suite des difficultés que donnait le refroidissement intense de l'air pendant sa détente, difficultés qui ne purent être surmontées par cet inventeur.

M. Mékarsky eut une plus saine appréciation du rôle qu'on devait faire jouer à l'air comprimé; il se rendit compte que l'air comprimé ne devait être considéré que comme un agent de transformation de chaleur en travail et que la chaleur nécessaire à la production du travail sur les pistons devait être empruntée non pas à la faible chaleur interne de cet agent de transformation, mais à une source d'énergie étrangère. En d'autres termes il fallait chauffer l'air avant de le détendre et l'un des moyens les plus simples pour atteindre ce but est celui qu'il adopta en incorporant à l'air destiné à travailler dans les cylindres une certaine proportion de vapeur d'eau dont la condensation au fur et à mesure de la production du travail extérieur fournit l'énergie nécessaire à la production de ce travail. Tel est, en principe, le système bien connu sous lequel l'emploi de l'air comprimé s'est répandu, et dont il a été assez souvent question dans cette enceinte pour que nous n'ayons pas à nous y étendre beaucoup. Nous nous contenterons de rappeler ce qui concerne son application à la traction mécanique des tramways.

§ 56. — Dans ce système les voitures à voyageurs peuvent être soit automobiles soit remorquées par une locomotive spéciale, suivant les cas, les distances à parcourir et l'intensité du trafic. Dans les deux cas elles fonctionnent au moyen d'un approvisionnement d'air comprimé emprunté périodiquement par elles à un établissement fixe et emmagasiné dans des réservoirs en tôle d'acier.

Dans les automobiles, ces réservoirs sont suspendus sous un truck métallique, sur lequel repose la caisse de la voiture à voyageurs.

Dans les locomotives, ils occupent la place de la chaudière à vapeur dont ils tiennent lieu.

En dehors de cet approvisionnement d'air comprimé, la machine emporte une certaine quantité d'eau chaude dans un réservoir nommé bouillotte, rempli aux trois quarts environ et qui est placé sur le parcours que doit suivre l'air comprimé pour se rendre aux cylindres moteurs.

Cette bouillotte caractérise le système Mékarsky, et forme la base des modifications que cet inventeur a fait subir à l'emploi de l'air comprimé.

L'air arrivant à la partie inférieure de ce réservoir, traverse la colonne liquide en s'échauffant et se saturant de vapeur d'eau, puis traverse un détendeur qui amène automatiquement le mélange fluide à la pression qu'il doit avoir à l'admission dans les cylindres. Le mécanicien peut facilement régler cette pression à chaque instant suivant l'effort de traction à développer, ce qui donne à ce système une souplesse et une élasticité supérieures de beaucoup à celles du précédent système de traction et permet de franchir aisément de fortes rampes ou de remorquer de fortes charges.

Pour conserver jusqu'à la fin du trajet cette élasticité de puissance, les réservoirs d'air sont divisés de manière à constituer deux batteries distinctes ayant chacune leur tuyauterie indépendante; l'une pour la marche ordinaire; l'autre, dite de réserve, pour les coups de collier à donner vers la fin du parcours. Cette disposition a été partout adoptée malgré la petite complication qui en résulte.

Lorsqu'une locomotive ou une automobile ont épuisé leur provision d'air comprimé et de vapeur, elles doivent revenir à l'usine fixe pour la renouveler avant d'effectuer un nouveau parcours.

Usine centrale.

§ 57. — Cette usine fixe comporte essentiellement :

1° Un ensemble de générateurs et de moteurs à vapeur pour la production de l'énergie.

2° Un nombre correspondant de compresseurs d'air à haute pression.

3° Une batterie de réservoirs en tôle d'acier où s'emmagasine l'air refoulé par les compresseurs.

4° Toute une tuyauterie spéciale pour la charge d'air comprimé et de vapeur dans les locomotives et automobiles.

Les moteurs à vapeur peuvent, bien entendu, être remplacés par des turbines hydrauliques.

La production de la force motrice ne présente aucune particularité saillante et se fait dans des conditions analogues à celles des autres stations centrales. On doit naturellement tout disposer pour la produire dans les meilleures conditions économiques possibles ou compatibles avec les données de l'installation.

Les compresseurs effectuent la compression de l'air en général en deux reprises par suite de pressions élevées de refoulement qui ont varié de 30 à 50 *atm* dans les installations déjà existantes et ont été encore sensiblement augmentées dans les installations récentes.

Chaque compresseur est muni d'une injection d'eau pulvérisée qui a pour effet de réduire considérablement la température de l'air comprimé à sa sortie du cylindre. Le deuxième cylindre est en outre muni d'une enveloppe à circulation d'eau. Entre les deux compressions, l'air est envoyé dans un réservoir intermédiaire où il achève de se refroidir, et après la deuxième compression, dans un réservoir sécheur où il se débarrasse de l'excès d'humidité entraînée. Il est ensuite emmagasiné dans une batterie de réservoirs en tôle d'acier, nommés accumulateurs. En effet, ces réservoirs jouent un rôle analogue à celui des gazomètres des usines à gaz et des accumulateurs des installations hydrauliques; ils servent de volant entre la production continue de l'air comprimé et son utilisation discontinue. La pression maximum y est réglée au moyen d'appareils de sûreté.

Pour renouveler la provision d'un moteur, on l'amène dans la salle de chargement où ses réservoirs sont mis en communication par une tuyauterie convenablement disposée avec les accumulateurs dont ils reçoivent la plus grande partie de leur chargement d'air comprimé. Le complément est fourni directement par les compresseurs d'air que l'on met en communication à la fin de l'opération avec les réservoirs de la voiture ou de la locomotive. Aussitôt que la pression est arrivée dans ces derniers à la valeur fixée, un appareil automatique coupe la communication avec les réservoirs de voitures et l'établit avec la batterie d'accumulateurs où l'air débité par les compresseurs continue à s'emmagasiner.

Pendant que s'effectue le chargement des réservoirs d'air comprimé, la bouillotte à eau chaude est mise en communication avec les générateurs de vapeur qui ramènent sa température et sa pression au taux nécessaire pour le service.

Le prix de ce matériel fixe : chaudières, moteurs, compresseurs, réservoirs, tuyauteries et appareils divers constitue une fraction très importante du coût total d'installation de la ligne de tramway.

Matériel roulant.

§ 58. — Les automobiles ont plus particulièrement été employées dans les différentes installations de traction par l'air comprimé. Nous ne parlerons donc que de celles-là. D'ailleurs tout ce que nous dirons sur leur mode de fonctionnement s'applique à peu près intégralement à celui des locomotives.

Ainsi que nous l'avons dit, le châssis porte sous la caisse de la voiture les réservoirs en nombre variable où s'accumule l'air comprimé. Ces réservoirs ont de 0,500 *m* à 0,600 *m* de diamètre et la pression admise varie de 30 à 50 *atm* (30 *atm* à Nantes et de 45 à 50 aux tramways Nogentais).

La bouillotte est disposée verticalement à la partie antérieure du truck; elle est surmontée du régulateur de pression ou détendeur qui sert au mécanicien à régler à volonté la pression du mélange d'air et de vapeur admis dans les cylindres. La distribution est maintenue autant que possible fixe et c'est au moyen du régulateur de pression que le mécanicien fait varier l'effort de traction suivant la résistance du profil et les charges à remorquer. Trois manomètres lui indiquent constamment la pression dans chacune des deux batteries de réservoirs et dans la boite à tiroir; il a sous la main les appareils de commande des freins, le régulateur de détente et le levier de changement de marche.

C'était un problème peu facile à résoudre que d'arriver à condenser dans un espace disponible aussi étroit, les appareils moteurs, les appareils de suspension du châssis, les organes de réglage et de sécurité, les réservoirs d'air comprimé, d'eau chaude avec toute la tuyauterie et les accessoires nécessaires, et de faire de l'ensemble une voiture automobile apte à circuler sur une voie ferrée du genre des voies de tramway.

Ce problème a été résolu, mais au prix de quelques petits inconvénients inévitables avec l'emploi des automobiles. Les appareils multiples trop groupés et resserrés sont d'une surveillance et d'un entretien un peu difficiles; d'autre part la voiture doit être assez allongée afin d'avoir une capacité convenable et son empatement est réduit par la nécessité d'accoupler les essieux et de les rapprocher pour leur permettre de s'incrire aisément dans les courbes. Il en résulte des porte-à-faux considérables, supportant

à leurs extrémités des poids considérables : bouillotte, réservoirs d'air et cylindres moteurs. Aussi la voiture doit-elle être très solidement constituée.

Comme elles présentent un grand moment d'inertie par rapport à leur axe transversal il peut en résulter en service des mouvements de tangage prononcés qui sont de nature à éprouver la voie, quand elle n'est pas assez solidement établie.

Ces inconvénients n'existent pas dans les locomotives où les conditions de bon équilibre des poids peuvent être bien mieux satisfaites.

Applications.

§ 59. — Des applications de l'air comprimé à la traction mécanique des tramways ont été faites à Nantes, aux environs de Paris et à Berne.

Le réseau actuellement exploité à Nantes se compose de deux lignes, l'une de 6 144 *m* de longueur, desservant les quais de la Loire, l'autre de 2 250 *m* traversant plusieurs bras de la Loire et reliant les faubourgs de la ville gauche au centre de la ville.

La rampe maxima est de 45 *mm* par mètre, mais la plus grande partie du réseau est de niveau.

Le matériel roulant comprend 22 petites automobiles sans impériale à 32 places et 4 voitures à impériale de 46 places pouvant être au besoin remorquées par les premières. L'exploitation se fait avec seize voitures les jours de semaine et 20 le dimanche. Depuis leur inauguration en 1879, ces tramways ont fonctionné d'une manière très satisfaisante et avec une économie remarquable.

§ 60. — Le réseau dit des « Chemins de fer Nogentais » constitue la deuxième application du système de traction Mékarsky. Ce réseau suburbain se compose de la ligne de Vincennes à Ville-Évrard par Nogent, longue de 9 600 *m* et d'un embranchement de Nogent à Bry-sur-Marne. Le profil de ces lignes est assez accidenté, surtout à la traversée de Nogent où les rampes atteignent 47 *mm* par mètre, avec des courbes et des contre-courbes nombreuses et de faible rayon. La voie est très bien établie; partie (6 550 *m*) en rails saillants sur accotement de route et partie (5 150 *m*) à la traversée des villages en rails à ornières sur chaussée. Il y a deux usines de charge, l'une au dépôt de la Maltournée, l'autre à la tête de ligne de Vincennes.

Les automobiles ont été employées de préférence à des remorqueurs, ce qui a été peut-être un tort; elles pèsent 10 à 11 *t* à vide et 14 *t* avec leur chargement complet de voyageurs. Il y a aussi quelques voitures à voyageurs qui sont attelées en remorque les jours de grande affluence.

Le fonctionnement de cette ligne n'a pas donné lieu à objections depuis son ouverture.

§ 61. — L'installation de Berne comporte une petite ligne d'environ 3 000 *m* de longueur à voie de 1 *m*, avec d'assez fortes rampes atteignant jusqu'à 52 *mm* par mètre. La puissance motrice est empruntée à une chute d'eau.

Les automobiles de trente places, très légères et sans impériale ne pèsent pas plus de 7 *t* à vide; elles ont leurs essieux couplés et peuvent au besoin remorquer de petites voitures ordinaires sans impériale à 25 places.

§ 62. — Des applications beaucoup plus importantes de l'air comprimé à la traction mécanique des tramways vont être prochainement inaugurées à Paris.

Le succès de l'installation de Nantes a décidé la Compagnie générale des Omnibus de Paris à substituer la traction mécanique par l'air comprimé à la traction animale, sur les trois lignes suivantes :

1° Du Louvre à Saint-Cloud. Longueur 10 135 *m*;

2° Du Louvre à Sèvres et à Versailles. Longueur 19 000 *m*;

3° Du Cours de Vincennes à Saint-Augustin. Longueur 9 140 *m*.

Les deux premières lignes seront avec beaucoup de raison exploitées au moyen de trains remorqués par locomotives; la troisième qui traverse les régions populeuses de Paris sera exploitée par automobiles.

Il y aura en tout trois usines de charge : une grande à Boulogne-sur-Seine, et deux autres de moindre importance rue de Lagny et à la Villette.

Nous ne reviendrons pas sur la description de ces installations dont la Société a déjà été entretenue et dont l'auteur se réserve de communiquer en leur temps les résultats d'essai. Nous nous contenterons de faire ressortir les deux nouveautés intéressantes qu'elle présente et qui ne manquent pas d'une certaine hardiesse :

1° L'emploi de canalisations d'air comprimé à haute pression pour le rechargement à grande distance des locomotives : canalisation de 2.100 *m* entre le dépôt de Boulogne et la porte du Point-

du-Jour; canalisation de 4 200 *m* entre le même dépôt de Boulogne et celui de Sèvres sur la route de Versailles.

Ces conduites de 60 *mm* de diamètre sont faites en tuyaux soudés à recouvrement avec joints au plomb.

2° L'adoption de très hautes pressions de chargement qui ont été prévues de 80 *atm*, afin de permettre de franchir de plus longs parcours entre deux charges.

Ces énormes pressions abordées pour la première fois ont nécessité des dispositions spéciales pour assurer la résistance et l'étanchéité des organes, sans accroître outre mesure le poids mort.

Les réservoirs des voitures sont en tôles d'acier embouties, sans autre réserve que celle d'un des fonds; le joint correspondant à cette réserve unique a été tourné pour avoir un contact parfait et les rivets ont été fraisés pour donner une étanchéité complète à la rivure.

L'épaisseur de ces tôles d'acier est de 13,5 *mm* seulement, pour un diamètre intérieur d'environ 0,500 *m*. Ces tôles travailleront donc à plus de 14 *kg* par millimètre carré. Elles sont faites avec un métal d'une qualité exceptionnelle ayant donné aux essais : 55 *kg* de résistance par millimètre carré à la rupture, 28 *kg* de limite d'élasticité et 22 0/0 d'allongement.

Les accumulateurs des usines fixes sont faits du même métal; ils n'ont pas de rivure longitudinale; les deux extrémités de chaque virole sont soudées à recouvrement et les fonds seuls sont rivés.

Le métal des bouillottes est plus doux : 38 *kg* de résistance à la rupture et 30 0/0 d'allongement; aussi l'épaisseur des tôles est-elle proportionnellement plus forte.

Ces dispositions rempliront-elles leur but et assureront-elles la résistance avec une étanchéité satisfaisante sous ces fortes pressions? C'est ce que l'expérience d'une exploitation continue montrera prochainement.

Les voitures automobiles à 50 places pèsent environ 11 *t* à vide dont 8 500 pour le truck et tout le mécanisme. Les réservoirs d'air d'une capacité de 2 400 *l* à 80 *atm* ne pèsent pas plus de 2 800 *kg* grâce à l'excellence du métal employé.

Le prix du truck avec tout le mécanisme et les réservoirs est de 20 000 *f*.

§ 63. — Les appareils de compression ont été établis avec tous les derniers perfectionnements permettant d'obtenir le maximum d'effet utile avec la moindre dépense.

Les machines à vapeur, compound, commandent directement des compresseurs à triple compression. Ces compresseurs verticaux comportent quatre cylindres : les deux inférieurs à simple effet aspirent l'air extérieur et le refoulent dans les deux autres qui le compriment successivement jusqu'à la pression définitive.

Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont horizontales et chaque compresseur est muni d'une injection d'eau pulvérisée opérant le refroidissement de l'air comprimé à sa sortie de chacun des cylindres.

La consommation de vapeur des machines motrices a été garantie à 7 *kg* par cheval indiqué, ce qui permet d'espérer obtenir une production d'un kilogramme d'air par deux kilogrammes de vapeur.

Rendement du système.

§ 64. — L'emploi de l'air comprimé comme agent de transmission de la puissance motrice entraîne à des pertes considérables, surtout à de telles pressions. Cette importante question a été si souvent débattue et a été l'objet de si vives controverses, de tant d'exagérations dans un sens et dans l'autre, que nous avons cru utile de chercher à l'établir au moyen de calculs qui comportent une précision aussi grande qu'il est utile dans un pareil sujet et qui sont d'ailleurs appuyés sur des résultats d'expérience.

Afin d'apprécier avec exactitude l'ensemble des faits, il faut évidemment se rendre compte :

1° Du travail absorbé par la compression d'un kilogramme d'air;

2° Du travail restitué par la détente dans les cylindres moteurs de ce même kilogramme d'air comprimé.

Travail de compression d'un kilogramme d'air.

§ 65. — La compression se fait en plusieurs reprises successives avec refroidissements intermédiaires; on peut supposer la compression adiabatique dans chaque cylindre et l'air ramené à la même température initiale à chaque admission.

Avec deux et surtout trois compressions successives le diagramme définitif ainsi obtenu se rapprochera beaucoup de la courbe isothermique.

Si l'on désigne par T_1, T_2, T_3, etc... les températures d'entrée de l'air et par δ_1, δ_2, δ_3..... les valeurs des compressions dans chaque cylindre, le travail théorique total sera donné par l'expression :

$$\mathfrak{T}_c = 100,5\,[T_1\,(\delta_1^{\,0,29} - 1) + T_2\,(\delta_2^{\,0,29} - 1) + T_3\,(\delta_3^{\,0,29} - 1) + \ldots..$$

Avec $\delta_1 \delta_2 \delta_3 ..... = \Delta$, rapport de compression finale.

Les conditions de fonctionnement sont les meilleures quand toutes les compressions successives ont la même valeur, les températures initiales étant les mêmes. Alors :

$$\mathfrak{T}_c = 201 \text{ T} \left(\Delta^{\frac{0,29}{2}} - 1\right) \text{ dans le cas de la double compression.}$$

$$\mathfrak{T}_c = 301,5 \text{ T} \left(\Delta^{\frac{0,29}{3}} - 1\right) \text{ dans le cas de la triple compression.}$$

Nous avons fait le calcul en supposant successivement $\Delta = 30$, 50 et 80 et avons obtenu les résultats suivants pour T = 17° centigrades.

Double compression $\begin{cases} \Delta = 30 \ \mathfrak{T}_c = 37\,300 \ kgm. \\ \Delta = 50 \ \mathfrak{T}_c = 44\,400 \ — \end{cases}$

Triple compression $\Delta = 80 \ \mathfrak{T}_c = 46\,100$ —

Il est intéressant de comparer ces chiffres avec ceux que donneraient les hypothèses de la compression entièrement adiabatique ou entièrement isothermique.

VALEURS DE Δ	COMPRESSION ADIABATIQUE	COMPRESSION ISOTHERMIQUE	COMPRESSION ÉTAGÉE
	kgm	*kgm*	*kgm*
$\Delta = 30$	49 300	28 900	37 300
$\Delta = 50$	61 400	33 200	44 400
$\Delta = 80$	74 600	37 200	46 100

En réalité on n'obtient pas dans les compresseurs le diagramme théorique supposé par suite des espaces nuisibles, des pertes de charge, etc...; les résistances passives interviennent encore pour augmenter le travail véritable de compression de l'air. Dans de bonnes machines bien réglées on peut admettre un rapport de 75 0/0 entre le travail théorique donné par les formules précédentes et le travail effectif dans le cas de la double compression et de 70 0/0 dans le cas de la triple compression.

En appliquant ces coefficients nous obtenons les résultats suivants :

Double compression $\begin{cases} \Delta = 30 \ \mathfrak{T}_c = 49\,700 \ kgm. \\ \Delta = 50 \ \mathfrak{T}_c = 59\,200 \ — \end{cases}$

Triple compression $\Delta = 80 \ \mathfrak{T}_c = 66\,000$ —

On voit qu'en chiffres ronds, un cheval-vapeur effectif donne :

4 *kg* d'air à la pression de 80 *atm.*

4,5 *kg* d'air à la pression de 50 —

5,5 *kg* d'air à la pression de 30 —

Ces résultats sont d'accord avec ceux que la pratique aurait donnés à M. Mékarsky.

Travail de détente.

§ 66. — Nous avons vu que l'air comprimé des réservoirs avant d'être admis dans les cylindres passe dans la bouillotte où il s'échauffe et s'imprégne de vapeur en quantité suffisante pour pouvoir se détendre ensuite sans refroidissement notable.

La proportion minima de vapeur nécessaire pour fournir par sa condensation une quantité de chaleur équivalente au travail de détente d'un kilogramme d'air serait d'environ 6 0/0 correspondant à un rapport de pression des deux fluides d'environ 0,10. Mais on a intérêt à augmenter sensiblement cette proportion et à porter le rapport de pression à 0,15 ou 0,13 au moins.

Le volume d'eau de la bouillotte est calculé en rapport avec l'approvisionnement d'air comprimé de façon que cette proportion reste à peu près la même pendant tout le trajet.

Avec un rapport de 0,14 et une pression initiale de 50 *atm*, la pression initiale de l'eau chaude doit être de 7 *atm*, correspondant à une température de 165°.

A la pression finale de 7 *kg* dans les réservoirs la pression de la vapeur d'eau dans la bouillotte doit être d'une atmosphère et sa température de 100°.

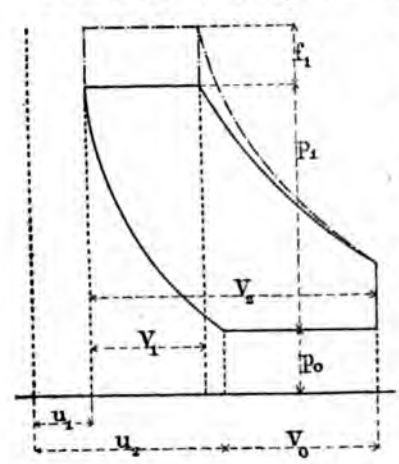
Par suite, la température du mélange fluide à la sortie de la bouillotte ira en s'abaissant de 165° à 100°.

Pendant la détente, la température de ce mélange s'abaissera forcément un peu, une certaine proportion de ce travail de détente devant être empruntée à la chaleur interne propre de l'air pour que la condensation puisse se produire. Toutefois avec une proportion de vapeur de 14 0/0, cette chute de température ne dépassera pas 50°.

Pour ne pas compliquer inutilement les calculs nous avons supposé la température constante pendant la détente et égale à 100° centtigrades.

Nous avons évalué séparément le travail dû à l'air et celui dû à la vapeur, en négligeant le très petit travail de détente que donne celle-ci.

La distribution est généralement réglée par une coulisse Walshaert, qui donne d'excellentes distributions; le cran de détente est, en général, conservé fixe, la pression d'admission variant seule et les conditions de la distribution sont à peu près les suivantes :



Admission, 30 0/0. Avance à l'échappement, 25 0/0. Détente, 45 0/0. Compression, 35 0/0. Espaces nuisibles, 7 0/0.

Le travail indiqué est à peu près représenté par le diagramme ci-contre et sa valeur est donnée par l'équation :

$$\mathfrak{T} = V_1 p_1 + V_1 f_1 + \int_{V_1}^{V} p\,dV - p_0 V_0 - \int_{u_2}^{u_1} p\,du$$

avec $\begin{cases} V_1 = 0{,}30\ V \\ V_2 = 0{,}75\ V \\ V_0 = 0{,}40\ V \\ u_2 = 0{,}35\ V \\ u_1 = 0{,}07\ V \end{cases}$ (V, volume du cylindre). $f_1 = 0{,}14\ p_1$ $p_0 = 1{,}2\ kg$ par centimètre carré.

Quant au poids d'air débité, il est donné, en supposant sa température égale à 100° centigrades, par :

$$\pi = 0{,}0000916\left((V_1 + u_1)\ p_1 - u_2 p_0\right)$$

Et le travail de détente par kilogramme d'air est donné par :

$$\mathfrak{T}_d = \frac{\mathfrak{T}}{\pi}.$$

Nous avons fait les calculs en supposant successivement $p_1 = 7\ kg$, $10\ kg$ et $15\ kg$ et avons trouvé les résultats consignés dans le tableau ci-joint :

PRESSION INITIALE	$\frac{\mathfrak{T}}{V}$	$\frac{\pi}{V}$	$\frac{\mathfrak{T}}{\pi}$
kg	*kgm*	*kg*	*kgm*
$p_1 =$ 70 000	32 160	1,86	17 350
$p_1 =$ 100 000	51 240	2,82	18 300
$p_1 =$ 150 000	83 040	4,43	18 700

La valeur de $\frac{\mathfrak{T}}{\pi}$ est donnée par la formule :

$$\mathfrak{T} = \frac{0,636\, p_1 - 12360}{0,0000321\, p_1 - 0,385} = \frac{p_1 - 19100}{p_1 - 12000} \times 19\,810\ kgm.$$

§ 67.—De ces calculs ressort un premier résultat important, c'est que l'utilisation de l'air est à peu près indépendante de la pression d'admission entre les limites généralement admises pour celle-ci.

Quant aux chiffres trouvés pour la valeur du travail indiqué, ce sont évidemment des maximums :

1° Parce que le diagramme théorique n'est jamais réalisé, les pertes de charge intervenant pour arrondir les angles, diminuer les ordonnées, déterminer des travaux résistants sensibles pendant la période d'avance à l'échappement, etc...

2° Parce que la distribution n'est pas constamment réglée au même cran et que pendant le parcours on réalise d'autres distributions donnant un effet utile sensiblement moindre.

Pour ces diverses raisons, on peut tout au plus espérer réaliser en travail indiqué les 9/10 de ce qui résulte de nos calculs théoriques. Il en ressort une utilisation maxima de 16 000 *kgm* indiqués dans les cylindres moteurs par kilogramme d'air.

Bien entendu, les résistances passives du mécanisme viennent diminuer ces résultats, de telle sorte que le travail disponible sur l'essieu par kilogramme d'air est encore moindre et réduit de 20 0/0 environ, soit 12 500 à 13 000 *kgm*.

Il serait intéressant de contrôler ces résultats au moyen de mesures dynamométriques effectuées sur les automobiles et remorqueurs appelés à fonctionner bientôt à Paris.

D'après nos calculs, le rendement avec l'emploi de l'air comprimé ressortirait à environ 25 0/0 entre le travail *indiqué* dans les cylindres moteurs de la voiture et le travail *effectif* développé par les machines fixes;

A environ 20 ou 22 0/0 entre le travail *indiqué* dans les cylindres à vapeur de l'usine fixe et le travail *indiqué* dans les cylindres du moteur.

Ces chiffres supposent, bien entendu, une étanchéité parfaite de tous les organes : compresseurs, accumulateurs, réservoirs, tuyauterie, etc., étanchéité que l'on a pu assurer d'une manière satisfaisante aux pressions employées jusqu'à ce jour, de 30 à

50 *atm*. Si elle n'était pas bien assurée, le rendement pourrait être très sensiblement affaibli.

§ 68. — De tout ceci, il résulte que le rendement de l'air comprimé est faible ; il ne faut, toutefois, pas perdre de vue que la force motrice peut être obtenue à l'usine fixe dans les meilleures conditions économiques possibles, ce qui remédie dans une grande mesure à ce grave défaut.

Nous avons vu que, dans de bonnes conditions, avec des chaudières et des moteurs fixes économiques, un kilogramme de vapeur donnait 1/2 *kg* d'air comprimé.

Par suite, un kilogramme de vapeur dépensé à l'usine permettra d'obtenir 8 000 *kgm* indiqués dans les cylindres moteurs de la voiture, ce qui correspond à une dépense de 34 *kg* de vapeur par cheval indiqué dans les cylindres moteurs, non compris la petite quantité de vapeur dépensée par la bouillotte.

Poids mort de l'automobile et dépense de force motrice par kilomètre-voiture.

§ 69. — L'automobile de 50 places pèse environ 10,5 *t* à vide, ainsi réparties :

Caisse.	2 000 *kg*
Réservoirs et bouillotte	3 000 *kg*
Châssis et mécanisme.	5 500 *kg*

L'approvisionnement d'air disponible est d'environ 200 *kg*, soit une proportion de 15 *kg* de réservoirs par kilogramme d'air.

Cette proportion qui était auparavant de 22 à 25 *kg* a pu être sensiblement réduite sur les nouvelles automobiles grâce à l'excellence du métal employé pour les réservoirs, permettant de porter le coefficient de travail de 9 ou 10 *kg* par millimètre carré à 14 ou 15.

En ordre de service, l'automobile pèsera 14 *t*. La résistance en palier peut être évaluée à au moins 12 *kg* par tonne.

L'effort de traction en palier sera donc d'environ 168 *kg*. L'effort moyen en service sera sensiblement plus grand par suite de la résistance due aux courbes, aux rampes et du travail perdu aux arrêts. En évaluant ces résistances à 4 *kg* par tonne (ce qui correspond à un profil assez facile), le travail kilométrique moyen de l'automobile sera de :

$$16 \times 14 \times 1\,000 = 224\,000 \; kgm$$

correspondant à une dépense d'air comprimé de 14 *kg* par kilomètre-voiture, à une dépense de vapeur de 28 *kg* et à une consommation de combustible d'environ 4 *kg* par kilomètre-voiture. Le rayon de parcours de la voiture serait d'environ 15 *km*.

§ 70. — Nous ferons remarquer qu'il a été souvent pensé et dit que l'emploi des automobiles était préférable à celui des locomotives en ce qu'il permettait un poids mort plus faible par place offerte.

C'est là une erreur, sauf quand le profil est accidenté et présente de très fortes rampes.

En effet, une voiture automobile de 50 places pèse à vide 10 500 *kg*, soit 210 *kg* par place offerte.

Si on la suppose remorquer une autre voiture de 50 places pesant 3 500 *kg* à vide (ce qui en pratique se fait rarement), le poids mort ressort à 140 *kg* par place offerte.

D'autre part, une locomotive de 12 *t* peut aisément enlever :

2 voitures à 50 places sur des rampes de 50 *mm*, soit 190 *kg* par place offerte;

3 voitures à 50 places sur des rampes de 33 *mm*, soit 150 *kg* par place offerte, tout en permettant des parcours, à poids mort égal, au moins égaux à ceux des automobiles, en donnant plus d'élasticité au service et en fatiguant moins la voie.

C'était, d'ailleurs, presque à prévoir, car le poids mort des mécanismes et des accessoires ne varie pas dans de grandes limites et celui des réservoirs est mieux utilisé à cause de leur plus grande longueur et en rapport direct avec la puissance emmagasinée.

Il nous semble donc que l'emploi des locomotives doit être préféré toutes les fois que les conditions le permettent et en particulier pour les trajets de banlieue et interurbains ou même les lignes urbaines desservant de larges voies de communication.

Frais de premier établissement

§ 71. — Ces frais comprennent :

1° L'achat de la partie du matériel roulant nécessaire pour opérer la traction ;

2° L'installation de l'usine fixe de chargement.

Matériel roulant.

§ 72. — On peut employer à la traction soit des automobiles, soit des locomotives.

Dans les deux cas, ce matériel n'est pas constamment utilisé, comme dans les systèmes précédents ; il y en a toujours une certaine fraction en rechargement à l'usine fixe ; ces rechargements qui se succèdent à intervalles assez fréquents absorbant de 15 à 20 0/0 de la durée totale du service de chaque automobile ou locomotive. Aussi, pour la même circulation, le même parcours kilométrique journalier et la même vitesse de régime, on devra mettre en service 15 à 20 0/0 d'automobiles ou de locomotives en plus qu'avec les systèmes à fil aérien ou à accumulateurs, sans préjudice du supplément nécessaire pour les réserves et les réparations.

Aussi, en moyenne, pour 10 automobiles ou locomotives en circulation, on doit en avoir au total au moins 15, dont 2 en rechargement et 3 en réserve ou en réparations, c'est-à-dire une fois et demi davantage.

D'autre part, nous avons dit plus haut que la valeur du châssis d'une automobile, avec les réservoirs, le mécanisme et toute la tuyauterie et appareils accessoires nécessaires, était d'environ 20 000 *f*, ce prix s'appliquant, bien entendu, à de grandes automobiles de 50 places, type de la ville de Paris.

Si l'on déduit de ce chiffre la valeur du châssis de voiture ordinaire, on voit que la dépense afférente à la traction pour une automobile de ce genre peut être estimée à 17 000 ou 18 000 *f*.

D'autre part, une locomotive susceptible de remorquer deux ou trois voitures de 50 places sur un parcours de 15 à 20 *km* coûte de 30 000 à 35 000 *f*, soit 2 *f* à 2,50 *f* le kilogramme.

Par suite, les frais du matériel roulant, en ce qui concerne spécialement la traction, peuvent s'évaluer à : 27 000 ou 28 000 *f* par automobile de 50 places en circulation et à 45 000 ou 50 000 *f* par locomotive de 15 à 18 *t* en circulation.

Ces chiffres ressortent à peu de chose près des installations en cours d'exécution à Paris.

Ainsi, pour avoir 15 locomotives en circulation sur les lignes du Louvre à Saint-Cloud, Sèvres et Versailles, la Compagnie Générale des Omnibus en a acheté 23 coûtant ensemble 805 000 *f*, d'où ressort une dépense, par locomotive en circulation, de *53 000 f*. (Ces locomotives sont des machines à 3 essieux, pesant 18 *t* et pouvant effectuer 20 *km* d'une traite.)

En second lieu, pour avoir 16 automobiles en circulation sur la ligne de Vincennes-Saint-Augustin, elle en a acheté 24, coûtant ensemble 440 000 *f* d'aménagement mécanique, d'où ressort une dépense, par automobile en circulation, de *27 500 f*.

Il est intéressant de rapporter ces chiffres au parcours kilométrique à effectuer par heure.

Ce parcours est en moyenne de 10 *km* par automobile en circulation et de 20 *km*-voitures, par locomotive en circulation, en supposant que chaque locomotive remorque en moyenne deux voitures.

La dépense de matériel roulant qui en résulte par kilomètre-voiture à effectuer par heure est :

De 2 700 à 2 800 *f* avec l'emploi d'automobiles indépendantes;

De 2 300 à 2 500 *f* avec l'emploi de locomotives.

En particulier, pour les installations de Paris, ces chiffres sont de :

3 300 *f* par kilomètre-voiture-heure sur la ligne du Louvre-Versailles ;

2 800 *f* par kilomètre-automobile-heure sur la ligne Vincennes-Saint-Augustin.

Installations fixes.

§ 73. — L'usine de chargement doit comprendre : chaudières, moteurs, compresseurs, réservoirs, tuyauterie et accessoires, le tout revenant, y compris les bâtiments, à 7 ou 800 *f* par cheval-vapeur pour des installations d'importance moyenne, soit environ 180 à 200 *f* par kilogramme d'air pouvant être débité par heure.

Or, chaque kilomètre d'automobile de 50 places en absorbe 13 ou 14 et nécessite une installation permettant, avec les réserves indispensables, d'en débiter 25 à 35 0/0 en plus, soit en moyenne 18 *kg* d'air.

Les frais d'établissement de l'usine centrale ressortent donc à environ 3 500 *f* par kilomètre d'automobile à effectuer par heure, soit 35 000 *f* par automobile en circulation.

Dans le cas de la traction par locomotives, les frais approximatifs peuvent s'apprécier de la même façon en prenant pour base qu'un train absorbe 1 *kg* d'air par tonne kilométrique de locomotive, 0,700 *kg* par tonne kilométrique de train et nécessite une installation permettant d'en produire de 30 à 35 0/0 en plus. La dépense installation peut donc s'estimer à 200 ou 220 *f* par tonne kilométrique de train à effectuer par heure.

Par exemple, les installations fixes de la ligne Louvre-Saint-

Cloud-Sèvres et Versailles, coûtent environ 700 000 *f* pour un service horaire de 120 à 125 kilomètres-trains, de 240 kilomètres-voitures avec 15 trains en circulation.

En résumé, nous voyons que les frais de premier établissement concernant la traction par l'air comprimé peuvent s'estimer au total à :

60 000 *f* environ par automobile de 50 places en circulation;
100 000 *f* environ par train de 2 ou 3 voitures en circulation;
5 000 à 7 000 *f* par kilomètre-voiture à effectuer par heure.

Ces chiffres sont sensiblement de même ordre que ceux trouvés pour les systèmes à fil aérien et à accumulateurs, la plus grande dépense de matériel roulant et de force motrice étant compensée par l'économie de la ligne et des batteries d'accumulateurs.

Frais d'exploitation.

§ 74. — Les frais d'exploitation des Chemins de fer Nogentais, en ce qui concerne la traction, ont été les suivants pendant l'exercice 1889 par voiture-kilomètre :

1° Frais de personnel	Personnel des dépôts . .	0,0736	
	Mécaniciens-conducteurs	0,0694	
			0,143
2° Combustible, graissage et eau			0,178
3° Entretien	Entretien du matériel fixe.	0,028	
	Entretien du matériel roulant. . .	0,052	
	Outillage et divers.	0,008	
			0,088
	Total. . . Fr.		0,409

Nombre total de kilomètres-voitures : 233 841.

§ 75. — Les frais d'exploitation des tramways de Nantes, pendant l'exercice 1891, ont été les suivants :

1° Frais de personnel	Personnel des dépôts. . .	0,040	
	Mécaniciens-conducteurs.	0,061	
			0,101
2° Combustibles, eau et graissage.			0,118
3° Entretien	Entretien du matériel fixe.	0,013	
	Entretien du matériel roulant . . .	0,058	
	Outillage et divers.	0,002	
			0,073
	Total. . . Fr.		0,292

Nombre de kilomètres-voitures : 682 852.

Les frais de traction à Nantes ont varié de 0,412 *f* le kilomètre-voiture à 0,265 *f*, depuis l'année 1879 à l'année 1892, le nombre annuel de kilomètres-voitures variant lui-même de 199 610 à 694 791.

La moyenne des dix dernières années est de 0,294 *f* le kilomètre-voiture. Il faut remarquer que les voitures de Nantes sont plus petites et plus légères que celles de Nogent, que la main-d'œuvre y est meilleur marché et le parcours kilométrique journalier plus grand. C'est ce qui explique la différence dans les résultats constatés.

Ces dépenses ne comprennent pas l'amortissement du matériel fixe et roulant. En supposant cet amortissement pratiqué en dix ans, ce qui est une limite raisonnable pour un matériel de ce genre, cet amortissement grèverait le kilomètre-voiture d'environ 0,10 *f* à 0,15 *f*. Cet amortissement est donc un facteur important du prix de revient et qu'il ne faut pas oublier de faire entrer en ligne de compte.

§ 76. — Le système à air comprimé nécessite des installations mécaniques importantes, et, ainsi que nous avons pu nous en rendre compte, son rendement est faible et sa consommation de combustible considérable. Par contre, c'est un des rares systèmes dont l'innocuité soit complète et dont l'emploi à l'intérieur des villes ne prête absolument à aucune critique. Il possède une grande élasticité qui lui permet de desservir des profils très accidentés et de se prêter à un trafic très irrégulier; il est sûr, propre, confortable, rapide et permet l'emploi facile d'automobiles et de locomotives selon les circonstances.

Enfin, dans certaines conditions, son exploitation est assez économique; à coup sûr elle l'est plus qu'avec l'emploi du système à accumulateurs dont les frais de premier établissement ne sont guère moins élevés, et qui partage à peu près seul son caractère d'innocuité à l'intérieur des villes, sans avoir toutes ses autres qualités.

Pour ces différentes raisons, ce système nous paraît devoir trouver des applications rationnelles dans beaucoup de villes quand l'emploi du système à fil aérien ne sera pas toléré et que le combustible ne sera pas trop cher.

CHAPITRE III

Traction à vapeur : Locomotives à foyer.

§ 77. — La vapeur est la source véritable de force motrice de tous les systèmes que nous venons de passer en revue. Mais ils sont tous caractérisés par l'emploi d'un intermédiaire pour l'utilisation de cette source d'énergie : câble, électricité, air comprimé..., intermédiaires qui ont pour premier et inévitable résultat d'amener une augmentation considérable dans les frais de premier établissement, sans parler de l'affaiblissement du rendement.

Aussi parait-il beaucoup plus rationnel et plus simple d'employer directement la vapeur à la traction des tramways, comme on l'a fait avec un tel succès pour la traction des trains sur les grandes voies ferrées.

Mais les conditions sont loin d'être les mêmes et les exigences d'un service de tramways ne peuvent, en aucune façon, se comparer aux conditions d'exploitation des grands chemins de fer.

Les premiers essais de traction mécanique des tramways ont été faits avec de petites locomotives à vapeur ; mais l'expérience n'a pas tardé à mettre en lumière les nombreux inconvénients qu'elles présentaient pour cette application spéciale.

Les grandes locomotives employées sur les voies ferrées du monde entier et constamment prfectionnées depuis un demi-siècle, sont arrivées à leur point de perfection et constituent incontestablement le plus merveilleux outil de traction qui ait été encore réalisé. Il parait bien difficile de faire mieux dans l'état actuel de la science et il est à croire qu'elles conserveront longtemps encore leur supériorité.

Mais il n'en résulte pas que la réduction d'un organisme aussi complexe sous un poids et un volume bien moindres, présente les mêmes avantages. Les petites locomotives sont nécessairement plus délicates que les grandes et ne peuvent présenter le même caractère de force et de solidité, principalement en ce qui concerne la chaudière et ses multiples parties.

Cependant le service que doivent effectuer les petites locomotives de tramways est bien plus dur et plus pénible ; les voies établies soit sur chaussée, soit sur accotement de route, sont toujours dans des conditions d'établissement et d'entretien bien inférieures à celles des grandes lignes posées sur plate-forme spéciale.

Elles présentent, en outre, un profil généralement accidenté

avec des rampes et des courbes très dures, et bien souvent sont trop faibles pour les charges et les efforts qu'elles ont à supporter.

Aussi l'entretien, le nettoyage et les réparations de ces petites locomotives constituent-ils trop souvent des charges particulièrement onéreuses, principalement en ce qui concerne la chaudière, dont les avaries causent la majeure partie des mises hors de service.

Pendant le fonctionnement, le foyer, le niveau et la pression de ces chaudières nécessitent une surveillance et des soins constants qui obligent généralement à avoir deux hommes sur la locomotive et augmentent les frais de personnel.

L'utilisation du combustible est beaucoup moins avantageuse dans ces petites chaudières que dans les grands générateurs fixes utilisés par les précédents systèmes et qui peuvent être munis de toutes les dispositions permettant l'économie et l'emploi rationnel du combustible. De même pour ce qui concerne l'utilisation de la vapeur dans les cylindres moteurs, comparée à son utilisation dans les machines fixes à grande détente et à condensation. Aussi la consommation de combustible par cheval indiqué dans les cylindres moteurs est-elle trois ou quatre fois plus considérable que la consommation obtenue dans de bonnes machines fixes, ce qui compense en grande partie l'affaiblissement du rendement produit par les transformations successives de l'énergie.

La chaleur, la fumée, les projections de flammèches et d'escarbilles font que ce mode de traction est peu agréable aux voyageurs et aux riverains des lignes ; l'emploi en a même été interdit par beaucoup de municipalités. Il n'est guère admissible pour la circulation dans les villes et peut tout au plus se tolérer pour les lignes vicinales et de banlieue. Les voitures toujours plus ou moins souillées par la fumée et la poussière de charbon, offrent un aspect peu engageant et se prêtent difficilement à un service prétendant au confortable et au luxe.

Enfin, les conditions d'élasticité de puissance ne sont pas aussi faciles à satisfaire qu'avec la plupart des systèmes précédents : la force motrice n'est produite qu'au fur et à mesure de son emploi et il n'y a pas de réserve pour un effort momentané (démarrage sur une forte rampe), ni pour un coup de collier un peu prolongé (forte charge à remorquer ou longue et forte rampe à gravir). Le seul moyen d'y remédier est d'augmenter plus qu'il ne serait nécessaire les dimensions, la puissance de vaporisation et, par suite, le poids mort de la locomotive.

§ 78. — Tous ces inconvénients et quelques autres qui en découlent, expliquent suffisamment les motifs qui ont porté à rechercher et à employer les différents systèmes que nous avons énumérés, systèmes moins simples évidemment, mais tous mieux appropriés à un service urbain régulier et satisfaisant.

Ces inconvénients n'empêchent pas, toutefois, les locomotives à vapeur de constituer le mode de traction mécanique le plus employé à l'heure actuelle en Europe pour les tramways et les lignes vicinales. En Angleterre seulement, leur nombre s'élève à plus de 500 et il y en a aussi beaucoup en Belgique, en Suisse, en Italie.

Elles sont aussi très répandues aux Etats-Unis, malgré la vogue qu'y possèdent les tramways électriques et à câble, et ont donné d'excellents résultats dans nombre d'installations où, par suite du faible trafic, ces deux systèmes auraient été d'une application très désavantageuse.

Elles évitent l'installation de coûteuses usines fixes et les seules dépenses de premier établissement, en ce qui concerne la traction, consistent dans l'achat de ces locomotives en nombre suffisant pour le service à effectuer. Aussi l'augmentation et l'extension du trafic sont-elles des plus faciles à obtenir puisqu'il suffit d'augmenter d'une quantité correspondante le nombre des locomotives en circulation.

§ 79. — En général, ces petites locomotives n'ont que deux essieux couplés aussi rapprochés que possible afin de réduire l'empatement au minimum. Les plus fortes toutefois en ont trois afin d'avoir une meilleure stabilité et de réduire la charge par essieu qui ne doit pas dépasser autant que possible 5 à 6 *t* pour des voies de tramways. Parfois, alors, le premier essieu est un simple essieu porteur indépendant ; dans ce cas l'adhérence complète n'est pas utilisée. Le plus souvent les trois essieux sont accouplés et les boudins des roues du milieu sont supprimés.

Le mécanisme est protégé par une enveloppe métallique le soustrayant le plus possible à l'action de la poussière et de la boue ; quelquefois même il est disposé au-dessus du châssis, ce qui n'est pas très favorable à la stabilité.

Le combustible brûlé est du coke ou un mélange de coke et de briquettes donnant le moins de fumée possible. Le tirage est activé par l'échappement de vapeur et pour atténuer le bruit de cette décharge on donne au tuyau d'échappement une grande section.

Une des grandes préoccupations des constructeurs a précisément été d'éviter les inconvénients de cet échappement bruyant pendant la traversée des villes. Pour cela on a cherché à ramener par une détente prolongée la pression d'évacuation de la vapeur à une faible valeur, cette longue détente étant obtenue au moyen de cylindres compound. On a aussi cherché à condenser le plus possible la vapeur d'échappement au moyen de condenseurs tubulaires refroidis par un courant d'air. Quelques-unes de ces dispositions ont donné de bons résultats.

Nous ne décrirons pas les types de locomotives variables à l'infini qui ont été proposés et employés à cet usage tant en Amérique qu'en Europe. Nous insisterons seulement sur l'importance qu'a le choix d'un matériel irréprochable sous le rapport de la qualité des matières, comme sous celui de la bonne construction et disposition des pièces. Trop souvent les économies faites sur ce chef ont été bien chèrement payées en entretien et réparations de toutes sortes.

Nous croyons intéressant de donner quelques renseignements sur deux lignes exploitées par locomotives à vapeur et qui ont donné de bons résultats : le réseau des tramways de Saint-Étienne et celui de Genève.

§ 80. — *Tramways à vapeur de Saint-Étienne.* — Ce réseau comprend trois lignes distinctes : La première desservant la ville de Saint-Étienne, la deuxième allant de Saint-Étienne à Firminy et la troisième allant de Saint-Étienne à Rive-de-Gier, présentant un développement total de 38,600 *km* à voie de 1 *m*. La dernière partie du réseau est particulièrement accidentée et présente des rampes atteignant à certains endroits jusqu'à 60 et 70 *mm* par mètre.

La première partie traverse toute la ville de Saint-Étienne en circulant dans des rues populeuses et souvent très étroites.

Les locomotives employées sont de plusieurs types différents :

1° La locomotive Brown de 11 *t* à vide avec cylindres placés au-dessus du châssis. Il y a deux essieux couplés et la charge par essieu en service courant atteint 6,5 *t*, ce qui est beaucoup pour la voie. Partie de ces locomotives sont disposées pour condenser la vapeur et font le service de la ville de Saint-Étienne ;

2° Locomotives de la Société « la Métallurgique ». Ces locomotives de même poids que les précédentes, mais à six roues couplées, sont plus stables et éprouvent moins la voie que les précédentes ;

3° Locomotives Carels, de Gand.— Ce sont les plus puissantes : elles pèsent 12 *t* à vide, 15 *t* en charge et ont six roues couplées, mais les roues du milieu n'ont pas de boudin afin de présenter moins de résistance dans les courbes.

Ces locomotives, très robustes, effectuent d'une manière satisfaisante le service très dur de la ligne de Rive-de-Gier en remorquant aisément trois voitures sur les plus fortes rampes.

Les trains sont de trois ou quatre voitures pesant 2 500 à 3 000 *kg* à vide et 5 à 6 000 *kg* en charge.

La vitesse moyenne de service, y compris les arrêts nombreux, varie de 10 à 12 *km*. La vitesse maxima en dehors des villes atteint 20 *km*. Grâce à la modicité des tarifs (0,10 *f* pour traverser toute la ville de Saint-Étienne), ce service a attiré un nombre considérable de voyageurs qui a souvent dépassé 8 millions par an depuis l'ouverture du réseau.

La consommation moyenne de combustible est d'environ 4 *kg* de coke par kilomètre-train et 1,6 *kg* par kilomètre-voiture.

Le parcours journalier d'une locomotive est de 108 à 110 *km* ; il y a 34 locomotives en tout dont 22 en circulation effectuant 2 300 à 2 400 *km* correspondant à plus de 6 000 *km*-voitures.

Les frais de traction par kilomètre-train et par kilomètre-voiture sont les suivants :

Combustible, eau et graissage	0,188 *f* par k.-tr.	0,071 *f* par k.-v.
Personnel de conduite. . . .	0,175 —	0,167 —
Entretien des locomotives et divers.	0,137 —	0,052 —
Totaux. . . .	0,500 *f* par k.-tr.	0,190 *f* par k.-v.

§ 81. — *Réseau des Tramways suisses à Genève.* — La ligne présente un longueur de 11,870 *km* à voie normale présentant des rampes atteignant 43 *mm* par mètre.

La voie système Marsillon composée de rails de 15 à 17 *kg* est trop faible. Elle était prévue pour recevoir des voitures à traction animale pesant 5 *t* en charge et elle donne actuellement passage à des trains circulant à des vitesses de 20 *km* à l'heure avec des locomotives pesant près de 10 *t* en charge. La Compagnie a reculé devant la grande dépense qu'aurait entrainée le remplacement complet de la voie et s'est contentée de la consolider en doublant le nombre des traverses. Aussi la voie est-elle fatiguée et nécessite des dépenses d'entretien considérables.

Les locomotives employées sont du type Brown de la fabrique de Winterthur pesant 8,5 *t* à vide et remorquant deux ou trois voitures de 35 places pesant à vide 2 500 *kg*. Il y a sept locomotives en tout dont cinq en service effectuant 100 à 115 *km* par jour.

Le tarif moyen est de 0,06 *f* par kilomètre ; mais il comporte des réductions pour les billets d'aller et retour et pour certaines catégories de voyageurs.

La consommation moyenne de combustible est de 3,5 *kg* par kilomètre-train, soit 1,55 *kg* par kilomètre-voiture. Le combustible employé est un mélange de 2/3 coke et 1/3 agglomérés revenant en moyenne à près de 40 *f* la tonne. Ce combustible est donc très cher.

Par contre la main-d'œuvre est bon marché : 3 à 6 *f* par jour suivant la qualité de l'ouvrier.

Les frais de traction par kilomètre-train et par kilomètre-voiture ont été les suivants en 1893 :

Combustible, eau et graissage	0,191 *f*	par k.-tr. et	0,084 *f*	par k.-v.
Personnel de conduite . . .	0,120	—	0,054	—
Entretien des locomotives. .	0,046	—	0,020	—
Totaux. . . .	0,357 *f*	par k.-tr. et	0,158 *f*	par k.-v.

On remarquera la faiblesse du chiffre porté pour les dépenses d'entretien des locomotives ; l'année précédente ces dépenses n'avaient été que de 0,073 *f* par kilomètre-train. Ces chiffres sont d'autant plus remarquables que la voie est mauvaise ; ils sont tout en faveur du matériel employé et du personnel de conduite.

Par contre l'entretien de la voie est très onéreux ; en n'en imputant qu'une moitié seulement à la traction mécanique, le prix de revient du kilomètre-train est grevé de ce chef d'environ 0,15 *f* et le kilomètre-voiture d'environ 0,0675 *f*.

Le parcours annuel total pendant l'exercice 1893 a été de 180 759 *km*-trains et 407 321 *km*-voitures.

Il est assez intéressant de comparer les résultats ci-dessus avec ceux qu'a donnés la traction animale appliquée au même réseau :

Nourriture et litière des chevaux . .	0,175 *f*	par kil.-voiture
Personnel des écuries et cochers. . .	0,107	—
Entretien des harnais et chevaux. . .	0,048	—
Total.	0,330 *f*	par kil.-voiture.

Par suite le kilomètre-voiture par traction animale revient presque aussi cher que le kilomètre-train par traction mécanique. Cette traction est faite par 122 *ch* ayant effectué en 1893 460 277 *km*-voitures, soit en moyenne 3 770 par cheval et par an.

La même Compagnie construit et se propose d'exploiter sous peu une ligne de 5,600 *km* à traction électrique avec fil aérien; la force motrice hydraulique lui est fournie à raison de 0,055 *f* le cheval-heure, et elle espère que le prix de traction ne dépassera pas 0,20 *f* par kilomètre-voiture, amortissement non compris.

§ 82. — On a cherché à concilier l'emploi de la vapeur avec celui de voitures automobiles plus propres à un service urbain que de véritables trains.

Dans cet ordre d'idées, nous devons citer la voiture automotrice Rowan et la voiture Serpollet, toutes deux essayées à Paris, l'une par la Compagnie générale des Omnibus et l'autre par la Compagnie des Tramways Nord.

La voiture Rowan qui n'est, à vrai dire, que la combinaison d'une voiture et d'une locomotive, se compose d'une caisse appuyée d'une part sur un bogie à quatre roues sur lequel est monté tout l'appareil moteur, et de l'autre côté, sur un train de roues guidé par un truck mobile. Une partie seulement du poids de la voiture est utilisée à l'adhérence.

La vapeur est fournie par une ou deux petites chaudières verticales à tirage naturel et elle est condensée au sortir de la machine dans un condenseur à surface logé sur l'impériale.

Le poids des bogies portant le mécanisme et les chaudières varie de 3 500 à 5 500 *kg* suivant le type.

La consommation de combustible serait de 3 à 3,5 *kg* de coke par kilomètre-voiture.

§ 83. — La voiture Serpollet, plus nouvelle que la précédente, est aussi plus intéressante. Son originalité réside surtout dans l'emploi de la chaudière multitubulaire à vaporisation instantanée du système Serpollet bien connu.

La principale qualité de cette chaudière est la grande élasticité qu'elle procure grâce à la facilité qu'on a de faire varier presque instantanément la pression dans de très grandes limites en modifiant seulement la quantité d'eau injectée dans les tubes du faisceau.

La température des derniers tubes étant très élevée, la vapeur s'y surchauffe à 250 ou 300° et même davantage.

Elle arrive très sèche dans les cylindres; mais il est peut-être à craindre que ces températures excessives ne donnent de grandes difficultés pour le graissage et l'entretien. Au sortir des cylindres la vapeur serait encore surchauffée et ne donnerait pas d'échappement visible.

La chaudière est formée de 18 tubes à section en ⊔; elle est placée à l'avant et séparée par une cloison du reste de la voiture.

Son alimentation se fait par le bas et la vapeur sort par la dernière ou parfois l'avant-dernière rangée de tubes.

Le foyer est enveloppé de parois réfractaires et son tirage est activé par la vapeur d'échappement.

Le moteur, constitué par une machine horizontale à deux cylindres et à grande vitesse, est enfermé dans une boîte en tôle qui le met à l'abri de la poussière et de la boue.

Pour supprimer les mauvaises odeurs d'huile de graissage qui pourraient être décomposées par la vapeur à haute température, cette enveloppe en tôle est reliée au cendrier par un tuyau qui amène une partie de l'air destiné à la combustion en le faisant circuler auparavant autour des cylindres et emporter toutes les vapeurs d'huile qui tendraient à se dégager.

Les gaz de la combustion sortant à haute température débouchent par la cheminée de la chaudière dans l'intérieur d'une deuxième cheminée qui est la continuation de l'enveloppe du générateur et produit un appel d'air actif. Ces gaz sont donc considérablement dilués avant leur évacuation et de plus la circulation d'air autour de la chaudière produit un excellent isolement de celle-ci et empêche la chaleur de se transmettre au reste de la voiture.

Les moteurs à grande vitesse commandent les essieux par une transmission à chaînes Galle réduisant la vitesse dans le rapport de 3 à 1.

Cette disposition permet de réduire considérablement le poids des moteurs et le poids mort total.

Le chargement de combustible se fait au moyen de petits coffres en tôle remplis de coke poussé dans le foyer; il suffit pour un parcours de 11 *km* pendant lequel le mécanicien n'a plus à s'occuper de son feu : la nécessité du chauffeur est donc évitée. On étudie actuellement la combinaison de la chaudière avec un foyer fumivore permettant l'emploi de la houille sans donner plus de fumée que le coke.

Malgré l'utilisation assez médiocre du combustible, le fonction-

nement serait économique grâce à l'emploi de la vapeur surchauffée et la dépense de coke ne dépasserait pas, d'après l'inventeur, 2 *kg* par kilomètre-voiture.

Cette application de la chaudière Serpollet à la traction des tramways, qui surmonte beaucoup des difficultés inhérentes à l'emploi des locomotives à foyer, est évidemment originale et fournit une solution très intéressante à suivre.

L'aléa nous paraît résider principalement dans l'entretien coûteux que nécessiteront les chaudières et le mécanisme, et dans les dangers de grippement des cylindres aux trop hautes températures du fonctionnement. La commande des essieux par chaîne articulée n'est peut-être pas non plus très heureuse.

L'équipement mécanique complet d'une voiture reviendrait à environ 16 000 *f* formant les seules dépenses nécessitées par la traction.

CHAPITRE IV

Locomotives sans foyer.

§ 84. — La plupart des inconvénients des locomotives à vapeur proviennent de la chaudière et de l'embarras que donne la présence d'un foyer en combustion, bien plus que de l'emploi même de la vapeur.

Aussi a-t-on été amené par une pente naturelle à supprimer la chaudière et le foyer tout en conservant les avantages économiques de l'emploi direct de la vapeur sans intermédiaire.

Cette conception a été réalisée d'une manière pratique par les locomotives sans foyer système Francq, imaginées en même temps, quoique sur des bases différentes, en Amérique par le docteur Lamm et en France par M. Francq.

Le but principal, la suppression du foyer de la locomotive, est atteint dans ce système par l'utilisation de la grande capacité calorifique de l'eau. La chaudière est remplacée par un simple réservoir d'eau capable d'emmagasiner une quantité de chaleur suffisante pour obtenir la production de vapeur nécessaire au fonctionnement pendant un laps de temps donné.

Cette quantité de chaleur est puisée à la fin de chaque trajet à des foyers établis à demeure dans une installation fixe.

Le moyen le plus pratique d'obtenir la transmission de chaleur rapide de ces foyers au réservoir d'eau de la locomotive est d'employer le chauffage à la vapeur en faisant barboter dans ce réser-

voir d'eau qui tient lieu de chaudière un courant de vapeur actif à haute pression.

Cette vapeur est produite par des générateurs fixes installés à la station de départ et utilisant la chaleur des foyers.

§ 85. — L'écoulement de vapeur se faisant en vertu de la différence de pression entre les deux milieux, la pression dans la chaudière fixe doit être au début de la charge, plus élevée que dans le réservoir mobile. Mais, au fur et à mesure du chauffage, la température de l'eau s'élève et en même temps la tension des vapeurs qu'elle émet, de telle sorte que la différence de pression et de température diminue jusqu'au moment où l'équilibre s'établit entre les deux enceintes.

Il en résulte cette première conclusion : que la pression de la vapeur dans les générateurs fixes doit être plus élevée que la tension maxima dans le réservoir et ceci est également vrai pour les températures. La température de départ pour l'eau du réservoir est donc limitée par les pressions qu'on ne peut, en pratique, dépasser pour des chaudières fixes.

La température finale est, de son côté, limitée par la pression la plus basse qu'on puisse admettre pour le fonctionnement du mécanisme moteur, pression dépendant de l'effort de traction à développer et par suite de la nature du profil aux environs de la station de rechargement.

La quantité de chaleur que l'eau peut emmagasiner entre ces deux limites peut seule être utilisée et nous verrons plus loin qu'elle est amplement suffisante pour permettre d'effectuer de longs parcours.

Pendant le fonctionnement, au fur et à mesure de l'évaporation, la température et la pression baissent dans le réservoir d'eau chaude. Il y a donc intérêt, comme dans le cas de l'air comprimé, à interposer entre ce réservoir et le mécanisme moteur, un régulateur de pression permettant l'écoulement constant de la vapeur à une pression fixe choisie par le mécanicien et qu'il peut lui-même faire varier en cours de route suivant les accidents du profil. C'est ce qui a été réalisé au moyen du régulateur d'admission de vapeur système Francq et Mesnard.

La distribution se fait par coulisse Stephenson, Walshaërt ou autre, permettant de faire varier le degré d'admission.

Grâce à la combinaison de ces deux moyens on peut modifier dans de grandes limites la pression moyenne dans les cylindres

Le récipient est préservé très soigneusement du refroidissement par rayonnement externe grâce à une enveloppe extérieure en tôle, sur laquelle est appliquée directement une épaisseur de calorifuge spécial de 35 *mm* et laissant entre la tôle du réservoir et elle-même une couche d'air emprisonnée de 35 *mm* d'épaisseur.

Grâce à cette disposition, la déperdition de chaleur pendant un trajet complet est tout à fait insignifiante, même par des temps très froids, et ne dépasse pas 1 calorie par heure, degré d'écart et mètre carré de surface extérieure, soit 1 à 2 0/0 de la quantité de chaleur dépensée. Une locomotive chargée, au repos, ne perd guère plus de 1 *kg* de pression en quatre heures de stationnement.

Le récipient est surmonté d'un dôme de vapeur dans lequel se fait la prise du fluide au moyen d'un tube vertical la puisant, par une série d'ouvertures longitudinales, aussi loin que possible du plan d'eau. Ce tube se raccorde à un appareil extérieur constituant à la fois le régulateur d'admission et le détendeur de vapeur, appareil ayant pour mission de régler à la volonté du mécanicien la pression d'admission de vapeur aux cylindres.

Avant d'arriver à ceux-ci, la vapeur traverse une chambre de vapeur détendue, constituée par un faisceau tubulaire plongé dans la masse d'eau chaude du réservoir et qui sert, en même temps, de réchauffeur-sécheur. Grâce à cette disposition, la vapeur entre dans les cylindres absolument sèche et même légèrement surchauffée pendant une grande partie du parcours, ce qui est une condition favorable de son fonctionnement. On a souvent constaté que dans les premières parties du trajet, on n'avait pas à purger les cylindres, ce qui est une preuve évidente de la surchauffe.

En sortant des cylindres, la vapeur est envoyée dans un condenseur à air formé d'un faisceau tubulaire vertical disposé au-dessus du récipient; la vapeur, avant de s'échapper définitivement au dehors, se répand autour de ce faisceau à l'intérieur duquel cet échappement même produit une circulation d'air active. On arrive ainsi à condenser jusqu'à 30 0/0 de la vapeur d'échappement; le reste est rejeté au dehors sous forme de panache plus ou moins épais.

La locomotive est munie de tous les appareils nécessaires à une locomotive ordinaire : changements de marche, freins, etc.; mais tous les mouvements et leviers de commande sont double-

ment établis sur la machine pour qu'elle puisse aller aussi bien dans un sens que dans l'autre, sans avoir besoin d'être retournée sur une plaque tournante. Chaque extrémité présente, à cet effet, une plate-forme identique pour le machiniste qui a de chaque côté, sous les yeux et sous la main, tous les appareils nécessaires à la conduite de sa machine.

Le poids d'eau contenu dans le récipient atteint, en général, 30 0/0 du poids de la locomotive à vide.

Il est de 2 000 *kg* pour les machines pesant 7 *t* à vide
et de 3 600 *kg* pour les machines pesant 12 *t* à vide.

Quant au volume de vapeur, il est d'environ 20 0/0 du volume total du réservoir.

Théorie des machines à eau chaude.

§ 89. — Deux points sont très importants à mettre en lumière :

1° La quantité de vapeur que peut donner chaque kilogramme d'eau du réservoir;

2° L'utilisation moyenne de cette vapeur, c'est-à-dire le nombre moyen de kilogrammètres qu'on peut espérer obtenir de chaque kilogramme de vapeur produite.

Ces évaluations sont très faciles à faire avec une précision suffisante pour les besoins de la pratique.

Vapeur produite par kilogramme d'eau.

§ 90. — En négligeant la déperdition très faible à travers les parois, on peut dire que toute la quantité de chaleur perdue par l'eau est consacrée à la production de la vapeur.

Désignons par :

P et t le poids d'eau contenu dans le récipient et sa température en degrés centigrades à un moment donné;

r_t la chaleur latente de vaporisation à $t°$;

dP la quantité d'eau vaporisée pendant un temps infiniment petit correspondant à un abaissement dt de la température;

Nous aurons : $$-\mathrm{P}dt = -r_t d\mathrm{P}.$$

Ou $$\frac{d\mathrm{P}}{\mathrm{P}} = \frac{dt}{r_t}.$$

Or : $$r_t = 606{,}5 - 0{,}695\,t. \qquad \text{(Regnault.)}$$

On en déduit, en intégrant entre les limites t_1 et t_0, P_1 et P_0 :

$$\text{Log}\,\frac{P_1}{P_0}=\frac{1}{0{,}695}\times\text{Log}\,\frac{\frac{606{,}5}{0{,}695}-t_0}{\frac{606{,}5}{0{,}695}-t_1}=1{,}44\,\text{Log}\,\frac{871-t_0}{871-t_1}.$$

D'où
$$\frac{P_1-P_0}{P_1}=1-\left(\frac{871-t_1}{871-t_0}\right)^{1{,}44}.$$

Soit $t_0=134°$, correspondant à la pression de 3 *atm*, et donnons successivement à t_1 les valeurs correspondant aux pressions depuis 3 jusqu'à 15 *atm*, nous aurons les résultats consignés dans le tableau ci-après :

Pressions de vapeur.	Températures dans le réservoir.	Valeur de $\frac{P_1-P_0}{P_1}$.
15 *atm*. . .	198°,8. . .	»
14 . . .	195°,5. . .	0,0068 *kg*
13 . . .	192°,1. . .	0,0142
12 . . .	188°,4. . .	0,0227
11 . . .	184°,5. . .	0,0299
10 . . .	180°,3. . .	0,0384
9 . . .	175°,8. . .	0,0470
8 . . .	170°,8. . .	0,0570
7 . . .	165°,3. . .	0,0676
6 . . .	159°,2. . .	0,0792
5 . . .	152°,2. . .	0,0919
4 . . .	144°. . . .	0,1066
3 . . .	134°. . . .	0,1242
2 . . .	120°,2. . .	0,1480

En examinant ce tableau, on se rend de suite compte qu'aux .autes températures, l'eau fournit beaucoup moins de vapeur en baissant d'une atmosphère qu'aux températures relativement basses. Ceci est dû à l'accroissement rapide de ses tensions de vapeur en fonction de la température qui fait qu'entre 14 et 15 *atm* il y a un écart quatre fois plus faible qu'entre 2 et 3 *atm*.

On a donc intérêt à ne pas dépasser 199° correspondant à 15 *atm*, parce que, pour gagner quelques degrés en plus, on serait obligé d'avoir des pressions beaucoup plus élevées, ce qui non seulement augmenterait le poids mort et le prix des installations fixes et roulantes, mais encore augmenterait beaucoup les difficultés du fonctionnement.

Par contre, on aurait tout intérêt à descendre aux plus basses pressions possibles, parce qu'alors les différences de température et les quantités de chaleur emmagasinées sont beaucoup plus considérables pour une même variation de pression. Mais, au-dessous de 3 *atm*, l'utilisation de la vapeur dans les cylindres deviendrait si mauvaise qu'on est aussi arrêté de ce côté, sans parler de la difficulté d'obtenir un effort de traction suffisant avec d'aussi basses pressions.

En pratique, on ne doit pas rentrer au dépôt avec une pression inférieure à 3,5 *kg* ou 3 *kg* au minimum et l'on ne compte pas sur une production de vapeur supérieure à 0,120 *kg* ou 0,130 *kg* par kilogramme d'eau emmagasinée.

§ 91. — S'il n'y avait aucune cause de perte, la quantité de vapeur nécessaire au réchauffage à l'usine centrale serait exactement $P_1 - P_0$, car l'équation différentielle du réchauffage serait encore :

$$Pdt = r_t dP,$$

et son intégration entre les mêmes limites donnerait la même valeur de $P_1 - P_0$.

Mais, en réalité, une partie de la chaleur contenue dans l'eau du récipient se perd par rayonnement et doit être récupérée à l'usine fixe par la circulation d'une petite proportion supplémentaire de vapeur.

D'autre part, on est obligé de purger de temps en temps ce récipient, sans quoi il se remplirait bientôt, par suite de l'excédent de la quantité de vapeur à y envoyer sur celle qu'il émet. Ces purges peuvent même avoir une importance considérable quand la vapeur de réchauffage entraine une forte proportion d'eau, ce qui arrive toutes les fois que les chaudières n'ont pas un plan d'eau suffisant ou ne sont pas proportionnées au récipient à charger.

Ces purges sont la cause de pertes nouvelles de calorique.

Aussi est-il bon de compter que les chaudières fixes doivent produire pour le chargement 8 à 10 0/0 de vapeur en plus que la quantité utilisée par les cylindres moteurs des locomotives.

§ 92. — Pendant la plus grande partie du parcours, la vapeur est laminée par le détendeur, de manière à n'avoir qu'une pression de 3 à 4 *kg* à l'admission dans les cylindres. Ce laminage n'est pas, toutefois, une cause de perte aussi grande qu'on

serait porté à le croire, car le mécanisme d'une locomotive ne se prête pas aisément aux longues détentes qui seraient nécessaires pour profiter de l'avantage des pressions d'admission élevées.

Cette chute de pression a pour effet de surchauffer légèrement la vapeur, même au cas où elle contiendrait des gouttelettes d'eau entraînées avant son passage dans le détendeur.

En effet, si nous désignons par :

t_1 et r_1 les températures et chaleur latente de vaporisation correspondant à la pression p_1 dans le réservoir;

t_0 et r_0 les quantités analogues correspondant à la pression p_0 dans la chambre de vapeur détendue;

x_1 et x_0 les proportions d'eau liquide contenues par la vapeur dans les deux enceintes,

Nous aurons la relation :

$$r_1(1 - x_1) = r_0(1 - x_0) - (t_1 - t_0),$$

exprimant l'écoulement adiabatique par le détendeur.

Et si nous supposons $x_0 = 0$, c'est-à-dire la vapeur exactement saturée à son entrée dans la chambre de vapeur détendue et si nous remplaçons t_1 et r_0 par leurs valeurs en fonction de t_1 et t_0, ou aura pour déterminer x_1 l'égalité :

$$x_1 = 0{,}305 \times \frac{t_1 - t_0}{606{,}5 - 0{,}695\, t_1}.$$

Pour $t_1 = 199°$ et $t_0 = 134°$, on a $x_1 = 4{,}3$ 0/0.

Par suite, en admettant que la vapeur puisée contienne 4 0/0 d'eau liquide, elle arrivera entièrement sèche aux cylindres et le laminage aura eu pour effet d'augmenter de 4 0/0 la quantité de vapeur destinée à travailler dans les cylindres.

Le passage dans le réchauffeur servant de chambre de vapeur détendue achève d'assurer sa siccité au moment de son admission.

Si, au contraire, la vapeur était déjà tout à fait sèche en sortant du récipient, elle arriverait sensiblement surchauffée dans les cylindres et, par suite avec un poids spécifique moindre à pression et volumes égaux.

Dans les deux cas, il y a légère augmentation du travail développé par kilogramme vaporisé dans le récipient.

Travail indiqué par kilogramme de vapeur dépensé.

§ 93. — Pour simplifier les calculs, nous supposerons la vapeur arrivant dans les cylindres à la température de saturation et se détendant suivant une hyperbole analogue à la courbe de détente isothermique des gaz parfaits.

Le travail indiqué est alors donné par l'expression :

$$T = p_1V_1 + p_1(V_1 + u_1)\,\text{Log}\,\frac{V_2 + u_1}{V_1 + u_1} - p_0v_0 - p_0u_0\,\text{Log}\,\frac{u_0}{u_1}$$

et le poids de vapeur dépensé, par :

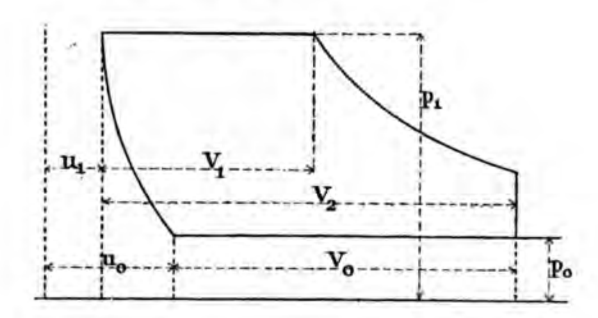
$$M = \pi_1(V_1 + u_1) - \pi_0u_0,$$

π_1 et π_0 étant les poids spécifiques aux pressions de saturation p_1 et p_0.

Nous avons fait les calculs dans les deux hypothèses de distributions suivantes :

1re distribution $\begin{cases} V_1 = 40\ 0/0 & u_1 = 7\ 0/0. \\ V_2 = 85\ 0/0 & u_0 = 22\ 0/0. \\ V_0 = 70\ 0/0. \end{cases}$

2e distribution $\begin{cases} V_1 = 30\ 0/0 & u_1 = 7\ 0/0. \\ V_2 = 75\ 0/0 & u_0 = 25\ 0/0. \\ V_0 = 57\ 0/0. \end{cases}$



Et nous avons trouvé les résultats consignés dans le tableau ci-après :

(On a supposé $p_0 = 12\,000$ *kg.*)

PRESSIONS D'ADMISSION	POIDS SPÉCIFIQUE	ADMISSION A 30 0/0		ADMISSION A 40 0/0	
		T	$\frac{T}{M}$	T	$\frac{T}{M}$
kg	*kgm*	*kgm*	*kgm*	*kgm*	*kgm*
30 000	1,65	7 200	16 500	10 000	16 100
40 000	2,16	13 120	21 000	17 200	20 000
50 000	2,67	19 060	23 500	24 300	22 000
60 000	3,16	25 000	25 100	31 500	23 600

Ce tableau montre que l'utilisation théorique est d'autant meilleure que la pression d'admission est plus élevée, mais que l'amélioration devient peu sensible au-dessus de 5 ou 6 *atm* : la pression de 4 *atm* sera une bonne pression de marche qu'il faudra conserver le plus longtemps possible. A 3 *atm* l'utilisation est déjà médiocre.

Il montre aussi qu'on peut aisément quadrupler l'effort de traction, tout en conservant une utilisation moyenne convenable et sans monter au delà de 5 à 6 *atm*.

En réalité, les résultats consignés dans le tableau ci-dessus ne sont pas obtenus ; le véritable diagramme est toujours plus faible par suite des pertes de charge, comme nous l'avons vu dans le cas de l'air comprimé et ne dépasse guère les $\frac{9}{10}$ du diagramme théorique.

D'autre part, la dépense de vapeur sera sensiblement plus grande que celle qui résulterait des chiffres ci-dessus, par suite des condensations intérieures dont nous n'avons pas tenu compte. Ces condensations sont un peu atténuées par l'état de surchauffe de la vapeur pendant une partie du trajet. Toutefois, elles peuvent acquérir une grande importance par suite des nombreux arrêts du moteur, nécessitant, à chaque fois, un réchauffage des cylindres. On pourrait les diminuer en entourant les cylindres d'une enveloppe calorifuge ou surtout en les munissant d'une enveloppe de vapeur alimentée par la vapeur à haute pression du récipient; mais nous ne croyons pas qu'on ait eu recours à ces dispositions en pratique.

§ 94. — Pour ces différents motifs il ne faut pas compter recueillir pour chaque kilogramme de vapeur dépensé, plus de 65 à 70 0/0 des chiffres portés dans le tableau ci-dessus, c'est-à-dire, en moyenne, plus de :

12 000 *kgm* par kilogramme de vapeur dépensée, ni plus de : 1 500 à 1 600 *kgm* par kilogramme d'eau emmagasinée.

Ces chiffres correspondent à très peu près aux résultats de la pratique.

On voit que la dépense de vapeur des chaudières fixes ressort à 23 ou 25 *kg* par cheval-vapeur-heure dépensé, ce qui correspond à environ 3 ou 3,5 *kg* de combustible.

Une locomotive pesant 15 tonnes en charge, remorquant 3 voitures chargées de 7 000 *kg* chacune, en développant un effort de traction moyen de 480 *kg*, dépensera à peu près 44 *kg* de vapeur, soit 5,5 *kg* à 6 *kg* de houille par kilomètre-train.

Les petites locomotives à foyer ne dépenseraient guère moins dans les mêmes conditions.

Poids mort et distance franchissable.

§ 95. — Le poids mort du récipient d'eau, avec son dôme de vapeur, son enveloppe et ses accessoires, est d'environ 0,6 *kg* par kilogramme d'eau contenue.

Le poids de ce récipient avec sa charge d'eau est donc au total de 1,6 *kg* par kilogramme d'eau, soit environ 1 *kg* par 1 000 *kgm* emmagasinés.

Si nous nous reportons aux résultats que nous avons trouvés pour l'air comprimé dans les conditions de pression et de résistance de métal admises pour les plus récentes installations, nous voyons qu'ils sont à peu près identiques.

Si nous faisons la comparaison pour les volumes, nous trouvons également des résultats presque identiques, car 1 m^3 de réservoir peut débiter 90 *kg* d'air à 80 *atm* et emmagasiner environ 1 400 000 *kgm* alors que 1 m^3 de récipient peut contenir 800 *kg* d'eau chaude et emmagasiner à très peu près la même puissance.

Les distances franchissables seront donc à peu près les mêmes à poids mort et encombrement égaux, en admettant bien entendu l'emploi de l'air à la pression de 80 *atm*.

Nous avons dit que le poids d'eau contenu était d'environ 230 à 250 *kg* par tonne de locomotive en charge.

Par suite la puissance qu'il est possible d'emmagasiner dans une locomotive à eau chaude peut atteindre 400 000 *kgm* par tonne de poids en charge et permet à cette locomotive d'effectuer en palier un parcours de 25 à 30 *km* sans qu'elle ait besoin d'être rechargée.

En abaissant la pression finale au-dessous de 3 *atm* on pourrait

encore agrandir ce rayon d'action; mais en pratique on ne cherche guère à dépasser 14 ou 15 *km* de parcours. Si la ligne comportait des trajets plus longs, il serait préférable de disposer une deuxième usine de chargement.

§ 96. — Le poids des locomotives à eau chaude se détermine d'après deux considérations d'ordre différent :

1° D'après l'effort de traction maximum qu'elles doivent fournir.

2° D'après le travail qu'elles doivent emmagasiner pour effectuer un service donné entre deux opérations de chargement.

Si nous désignons par :

μ le rapport du poids de la locomotive en charge au poids du train à remorquer;

r la rampe maxima en millimètres par mètre;

L la longueur du trajet entre deux charges;

Et si nous supposons la résistance en palier égale à 10 *kg* en moyenne par tonne de convoi;

Le coefficient d'adhérence égal à 0,13, soit 130 *kg* par tonne de locomotive ;

Le travail total à dépenser égal à 13 000 *kgm*, en moyenne, par tonne de convoi et kilomètre de parcours ;

Le travail total emmagasinable par tonne de locomotive égal à 400 000 *kgm* ;

La valeur de μ devra satisfaire aux deux inégalités suivantes :

$$(1) \qquad 130\,\mu \geqslant (10 + r)(1 + \mu) \text{ ou } r \leqslant \frac{120\,\mu - 10}{1 + \mu};$$

$$(2) \qquad 400\,000\,\mu \geqslant 13\,000\,\mathrm{L}\,(1 + \mu) \text{ ou } \mathrm{L} \leqslant \frac{400\,\mu}{13\,(1 + \mu)}.$$

En donnant à μ diverses valeurs comprises entre 0 et 1, nous trouvons pour r et L les valeurs maxima consignées dans le tableau ci-joint :

VALEURS DU RAPPORT μ	RAMPE MAXIMA	TRAJET MAXIMUM	POIDS APPROXIMATIF PAR PLACE OFFERTE	
			de locomotive	Poids mort total
	mm	*m*	*kg*	*kg*
0,30	20	6 000	40	110
0,50	33	10 000	70	140
0,75	45	13 500	105	175
1,00	55	15 500	140	210

On voit que les fortes rampes et les augmentations du trajet à parcourir entre deux charges entrainent à d'importantes et coûteuses augmentations du poids de la locomotive et du poids mort total.

Prenons pour fixer les idées un exemple numérique :

1° Une locomotive pesant 7 500 *kg* à vide, 10 000 *kg* en charge, coûtant environ 20 000 *f*, remorquera un train de 21 *t* représentant l'équivalent de 3 voitures de 50 places, complètement chargées, sur des rampes de 30 *mm* et pourra effectuer un parcours de 10 000 *m* d'une seule traite.

Avec un train de 14 *t*, la même locomotive pourra aborder des rampes de 40 *mm* et effectuer un trajet de 12 000 *m* ;

2° Une locomotive pesant 12 000 à 12 500 *kg* à vide et 16 000 *kg* en charge, coûtant environ 30 000 *f*, remorquera le train de 21 *t* sur des rampes de 40 à 45 *mm*, en effectuant un trajet d'au moins 13 000 *m*.

Avec un train de 14 *t* seulement, elle pourra aborder des rampes de 60 *mm* par mètre et franchir une distance de près de 16 *km*.

Mais la dépense de force motrice par kilomètre-voiture sera bien différente dans ces divers cas et variera de 130 000 à 200 000 *kgm*, par le seul fait de l'augmentation du poids mort, même en admettant des résistances de traction égales en moyenne dans tous les cas.

Ces résultats montrent très nettement l'influence de la nature du profil, influence beaucoup plus grande quand la traction se fait par locomotives que quand elle se fait par automobiles.

On a grand avantage à réduire le poids de la locomotive autant que le permet la nature de la ligne.

Frais de premier établissement

Matériel roulant.

§ 97. — Avec le système à eau chaude, comme avec le système à air comprimé, il y a une perte de temps forcée pour le chargement des locomotives, perte de temps qui oblige à avoir au total (y compris les réserves) un nombre de locomotives égal à une fois et demie celui qui est en circulation.

Afin d'avoir une base pour les calculs, nous supposerons l'emploi de locomotives pesant environ 16 *t* en charge et nous admettrons qu'il y a en moyenne 2 voitures en circulation par locomo-

tive. Ce cas est évidemment un cas extrême et il va sans dire que tous les chiffres qui vont résulter de cette hypothèse pourraient être sensiblement réduits avec l'emploi de locomotives d'une moindre puissance.

Nous rapportons, comme nous l'avons déjà fait, les frais de premier établissement :

1° Au nombre de locomotives en circulation;
2° Au nombre de voitures (supposées de 50 places);
3° Au nombre de kilomètres-voitures à effectuer par heure.

Les locomotives du type supposé, coûtant environ 30 000 *f*, la dépense de premier établissement ressortira de ce chef à :

45 000 *f* par locomotive en circulation ;
22 500 *f* par voiture en circulation ;
2 250 *f* par kilomètre-voiture à effectuer par heure.

Usine fixe.

§ 98. — La dépense correspondante est relativement peu importante, car cette usine se réduit à l'installation d'une batterie de chaudières de force suffisante, avec la tuyauterie et les installations nécessaires pour la charge.

Les chaudières doivent être prévues à raison de :

4 m^2 par voiture de 50 places en circulation;
8 m^2 par locomotive de 10 *t* en circulation;
12 m^2 par locomotive de 16 *t* en circulation.
Mais il faut compter un tiers en plus pour la réserve.

Cet ensemble, y compris les bâtiments, ne reviendra pas à plus de 10 000 *f* par train en circulation, composé en moyenne d'une locomotive de 16 *t* et de 2 voitures de 50 places, soit 20 à 25 0/0 du prix du matériel roulant de traction.

Le total des frais de premier établissement pour la traction peut donc s'évaluer à :

55 000 *f* par locomotive de 16 *t* en circulation ;
2 700 à 28 000 *f* par voiture de 50 places en circulation ;
2 700 à 2 800 *f* par kilomètre-voiture à effectuer par heure.

Ces prix se réduiraient d'environ 25 0/0 avec l'emploi de locomotives de 10 *t* à la place de celles de 16 *t*.

Si nous comparons ces chiffres avec ceux que nous avons trouvés pour les autres systèmes, on voit que l'emploi direct de la vapeur

entraine une économie des plus importantes dans les frais de premier établissement relatifs à la traction ; c'est là son principal avantage.

Conditions et frais d'exploitation de quelques tramways à eau chaude.

§ 99. — Les locomotives sans foyer ont été employées d'une manière industrielle pour la première fois en Europe, en 1878, sur la ligne de Rueil à Marly-le-Roi, longue de 9,25 *km*, sensiblement de niveau sur la plus grande partie de son tracé, mais présentant, entre Port-Marly et Marly-le-Roi, des rampes de 50 à 60 *mm* par mètre.

Le service se faisait au moyen de petites locomotives pesant 6 600 *kg* à vide et 8 500 *kg* en charge, au nombre de trois en circulation à la fois. Il s'est continué très régulièrement et d'une manière satisfaisante jusqu'à l'absorption de la ligne par la Compagnie des Tramways de Paris à Saint-Germain ; l'économie était sensible sur les locomotives à foyer employées concurremment dans les débuts et le fonctionnement meilleur sous tous les rapports.

Les frais de la traction par kilomètre-train de deux ou trois voitures ont été les suivants pendant l'exercice 1880 :

Combustible et graissage . .	0,165 *f*	(charbon à 30 *f* la tonne).
Personnel et traction. . . .	0,120	
Entretien et réparations . .	0,090	
TOTAL. . . .	0,375 *f*	par kilomètre-train.

Amortissement non compris.

La consommation moyenne de houille a varié de 4,00 à 4,50 *kg* par kilomètre-train.

Après l'absorption de la ligne par la Compagnie des Tramways de Paris à Saint-Germain, le service fut fait pendant un certain temps par des locomotives beaucoup plus puissantes pesant 15 600 *kg* en charge et remorquant des trains de 30 *t*. Puis ces locomotives furent elles-mêmes remplacées par des locomotives à foyer, probablement par suite de la trop grande longueur du trajet.

Les locomotives sans foyer avaient fonctionné très régulièrement et il paraitrait que la substitution des locomotives à foyer a amené une sensible augmentation dans les frais d'exploitation.

Les dépenses de traction par les locomotives sans foyer avaient été les suivantes en 1891, par kilomètre-train :

Personnel de conduite	0,081 *f*
Combustible et graissage. . . .	0,255
Personnel des usines fixes . . .	0,040
Entretien du matériel	0,069
TOTAL des frais de traction.	0,445 *f*

par kilomètre-train de trois ou quatre voitures.

§ 100. — Les résultats satisfaisants donnés par les lignes de Rueil-Marly ont déterminé l'extension du système sans foyer à un assez grand nombre d'installations en France et à l'étranger, parmi lesquelles nous citerons notamment :

Les lignes de Lille à Roubaix et de Lille à Tourcoing;

Les lignes de Lyon à Saint-Fons, de Lyon à Bron et de Lyon à Montplaisir ;

La ligne de Batavia à Kramat et Meester Cornelis (Java) ;

La Ligne de l'Étoile à Courbevoie ;

La ligne de l'Est-Marseille.

Nous donnons ci après quelques renseignements que nous avons pu réunir sur ces différentes lignes, toutes placées dans des conditions très diverses et qui ont donné des résultats satisfaisants.

1° Lignes de Lille à Roubaix et Tourcoing.

§ 101. — Ces lignes présentant ensemble un développement de près de 25 *km* appartiennent à la Compagnie des Tramways du département du Nord.

La traction mécanique ayant été décidée en principe par suite de la longueur des trajets, la Compagnie essaya d'abord l'emploi de machines à feu système Hughes qui n'eurent pas de succès, puis des locomotives Carels qui firent un meilleur service.

En 1884 les locomotives sans foyer système Francq furent employées concurremment avec ces dernières et donnèrent de si bons résultats que peu d'années après les locomotives Carels furent transformées en locomotives sans foyer et le service ne se fit plus dès lors que d'après ce dernier système.

Entre Lille et Roubaix, la voie est pour la plus grande partie (8 200 *m* sur 11 100 *m*) établie en chaussée ; cette voie est en assez mauvais état et donne une résistance au roulement considérable. La rampe maxima est de 53 *mm* par mètre et la courbe la plus faible a 18 *m* de rayon.

On a commis la faute d'installer deux dépôts, l'un au Lyon-d'Or, près de Lille, l'autre au Brœucq près de Roubaix, au lieu d'un seul à cheval sur la ligne, qui aurait donné lieu à de moindres frais d'exploitation.

Le dépôt du Lyon-d'Or contient quatre chaudières multitubulaires d'une surface de chauffe totale de 140 m^2, dont trois constamment en service pour le chargement des locomotives, l'atelier, le service de l'eau, etc.

Ces chaudières à réservoir de vapeur insuffisant donnent lieu à des entraînements d'eau liquide très préjudiciables à l'économie du système.

Aussi la dépense de combustible atteint-elle jusqu'à 6 et 7 *kg* par kilomètre-train ; il faut dire que ce combustible formé de menu de houille est très médiocre et que le chiffre ci-dessus comprend la dépense pour les autres services.

Au dépôt de Brœucq, au contraire, où sont installées deux chaudières à foyer intérieur de 50 m^2, la dépense oscille entre 4 *kg* et 4,50 *kg* par kilomètre-train.

Les machines pesant 8 500 et 10 000 *kg* à vide, ne présentent aucune particularité remarquable ; celles de ce dernier type font jusqu'à 18 *km* avec deux voitures chargées.

Sur la ligne de Lille à Tourcoing, longue de près de 13 *km*, la voie est dans des conditions un peu meilleures et les rampes sont moins fortes. L'alimentation se fait au moyen d'un seul dépôt à Marcq, placé à mi-chemin ; les chaudières sont du type multitubulaire, mais avec un réservoir d'eau plus grand que celui du Lyon-d'Or.

Le service est plus spécialement fait par des locomotives Carels transformées.

Les frais de traction sur ces lignes ont varié de 0,30 *f* à 0,37 *f* le kilomètre-train (non compris l'amortissement, ni les redevances à la Compagnie des locomotives sans foyer).

Pour le mois d'août 1892, les dépenses ont été les suivantes :

	Lille à Roubaix — Le kilomètre-train	Lille à Tourcoing — Le kilomètre-train
Combustible, graissage et essuyage.	0,125 *f*	0,112 *f*
Personnel de conduite	0,095	0,087
Entretien du matériel fixe et roulant.	0,114	0,070
Éclairage et divers.	0,006	0,006
TOTAUX. . . .	0,340 *f*	0,275 *f*

Pendant l'ensemble de l'année 1892, les frais de traction se sont élevés :

1° Sur la ligne de Roubaix à 0,355 *f* par kilomètre-train et 0,220 *f* par kilomètre-voiture ;

2° Sur la ligne de Tourcoing à 0,315 *f* par kilomètre-train et 0,230 *f* par kilomètre-voiture.

Le charbon est très bon marché, mais la main-d'œuvre est assez chère. La consommation moyenne de combustible a été :

Sur la ligne de Roubaix, de 6,25 *kg* par kilomètre-train et de 4 *kg* par kilomètre-voiture.

Sur la ligne de Tourcoing de 6,50 *kg* par kilomètre-train et de 5,25 *kg* par kilomètre-voiture.

Ligne de Lyon à Saint-Fons et à Venissieux.

§ 102. — Cette ligne, à voie normale, est alimentée par un dépôt placé à Saint-Fons, au moyen de trois chaudières Babcock et Wilcox à grand volume d'eau. La rampe la plus forte est de 47 *mm* par mètre sur le pont de la Guillotière : mais les machines ont été calculées pour pouvoir ultérieurement effectuer leur service sur la ligne d'Oullins, qui présente des déclivités de 62 *mm* par mètre. Aussi sont-elles un peu trop volumineuses et trop lourdes.

En effet, leur poids en charge atteint 16 *t*, ce qui leur permet de développer un effort de traction de 2 000 *kg*, et de remorquer aisément 3 et même 4 voitures de 50 places.

Les installations ont été prévues d'une manière beaucoup trop large pour le service actuel, qui est peu actif ; il ne dépasse guère 300 kilomètres-trains par jour, alors que l'installation permettrait d'en faire 1 000 ou 1 200. Les départs n'ont lieu que d'heure en heure. Ces conditions défavorables influent sur les frais de traction ; on espère les réduire notablement dès que les circonstances permettront de doubler le trafic.

Actuellement elles atteignent 0,52 *f* par kilomètre-train, amortissement non compris :

Combustible	0,215 *f*
Graissage et divers.	0,055
Personnel de traction	0,167
Entretien.	0,083
	0,520 *f*

Le combustible coûte 25 *f* la tonne et la consommation moyenne a été d'environ 7 *kg* par kilomètre-train.

Les machines se comportent très bien et donnent peu d'entretien : après un parcours de 18 *km*, elles ont encore 2 1/2 *atm* de pression en rentrant au dépôt.

Ligne de Batavia à Kramat et Meester Cornelis.

§ 103. — Cette ligne, d'une longueur de 12 600 *m*, est alimentée par deux dépôts, l'un à Batavia, l'autre à Kramat, contenant chacun quatre chaudières tubulaires, genre locomotive, d'une surface de chauffe de 67 m^2 chacune.

Ces chaudières timbrées à 16 *atm* fonctionnent bien quoique alimentées avec des eaux assez calcaires.

Le service, très actif, se fait au moyen de 27 locomotives sans foyer, pesant 9 *t* en charge et remorquant 2 ou 3 voitures. Le poids moyen des trains est de 25 *t* et il y a près de 2 000 kilomètres-trains par jour : la consommation de combustible varie de 4 *kg* à 5 *kg* par kilomètre-train. Ce combustible vient d'Angleterre ou d'Australie et coûte souvent très cher. Mais la main-d'œuvre est très bon marché. Aussi le prix de revient de la traction est-il remarquablement bas.

Le nombre annuel de kilomètres-trains s'est élevé de :

617 291 en 1888 à 680 222 en 1892.

Et le nombre annuel de kilomètres-voitures, de :

1 371 359 en 1888 à 1 913 059 en 1892.

Ci-après nous donnons les frais de traction, pendant l'exercice 1891-92 d'après les rapports officiels de la Société :

Frais de personnel.	0,063 *f*
Combustibles et graissage	0,205
Entretien du matériel fixe et roulant. . .	0,043
Eclairage et divers	0,005
TOTAUX par kilomètre-train	0,316
— par kilomètre-voiture	0,112 *f*

Les frais totaux d'exploitation n'ont jamais dépassé 0,500 *f* par kilomètre-train, ce qui est un chiffre très faible.

Le prix de charbon varie de 30 à 40 *f* la tonne.

Tramways de l'Étoile à Courbevoie.

§ 104. — Cette ligne, longue de 3 600 *m*, a été d'abord exploitée pendant plusieurs années par des machines à foyer ordinaires. Mais ces machines donnèrent de fort mauvais résultats par les frais considérables d'entretien qu'elles nécessitaient ; le prix de revient moyen de la traction ne cessa d'augmenter d'année en année jusqu'à atteindre le chiffre énorme de 1,007 *f* par kilomètre-train, dont plus de la moitié pour l'entretien et les réparations des moteurs. Ces dépenses considérables décidèrent la Compagnie des Tramways-Nord à revenir aux chevaux ; puis, en 1889, à effectuer la transformation de ces machines à feu en machines sans foyer, système Francq.

Depuis ce moment l'exploitation s'est faite dans de bonnes conditions économiques, malgré les circonstances assez peu favorables dans lesquelles se fait la traction, les machines transformées, déjà vieilles et usées, ne pouvant donner les résultats qu'on pourrait espérer obtenir de moteurs spécialement construits.

Les frais de traction pendant les années 1892 et 1893 ont été les suivants :

	Année 1892	Année 1893
Personnel de conduite	0,076 *f*	0,079 *f*
Production de la vapeur.	0,129	0,126
Entretien du matériel	0,106	0,094
Frais généraux et divers.	0,028	0,052
Totaux par kilomètre-voiture .	0,339 *f*	0,351 *f*

Le nombre de kilomètres-trains a été de 659 236 en 1893.

Les machines sont de trois types différents, pesant de 6 400 à 9 000 *kg* en charge, et remorquent des trains de 2 ou 3 voitures pesant au total 22 à 28 *t*, machines comprises.

Il est assez intéressant de comparer ces résultats avec ceux qu'ont donnés la traction électrique et la traction animale sur le même réseau.

Nous avons vu que le kilomètre-voiture électrique (par accumulateur) était revenu, en 1893, à 0,542 *f* (pour la traction seule).

En ce qui concerne la traction animale, les résultats en 1892 et 1893 ont été les suivants :

	Année 1892		Année 1893	
Personnel des dépôts	0,069 *f*		0,071 *f*	
Cochers, relayeurs, côtiers, etc.	0,121		0,124	
		0,190		0,195
Entretien des chevaux, harnais, etc. .		0,078		0,070
Nourriture des chevaux		0,269		0,280
Frais généraux et divers.		0,011		0,010
TOTAUX par kilomètre-voiture. . . Fr.		0,548		0,556

Le service a comporté 2 743 289 kilomètres-voitures effectués par 23 366 journées de voiture et 291 683 journées de cheval.

Le prix de revient de la ration a été en moyenne de 2,25 *f* par cheval et par jour, en 1893.

On voit par la comparaison de ces différents résultats l'avantage sensible de la traction mécanique à vapeur.

Avantages et inconvénients des locomotives sans foyer.

§ 105. — Ces locomotives présentent pour la traction des tramways une supériorité incontestable sur les machines à foyer ordinaires, car elles possèdent tous les avantages de l'emploi direct de la vapeur, sans les nombreux inconvénients que donne la présence d'un foyer, et sont admises à circuler là où des locomotives ordinaires ne seraient pas souvent tolérées.

Sous le rapport économique, elles donnent lieu, toutes choses égales d'ailleurs, à des frais de premier établissement analogues et à des frais de traction sensiblement moindres :

1° Par la diminution des frais d'entretien.

2° Par une certaine économie dans les dépenses de combustible.

3° Par une légère réduction des frais de personnel dans certaines conditions d'exploitation.

En ce qui concerne la commodité et les facilités de l'exploitation, elles possèdent plus de souplesse, d'élasticité, évitent la fumée, la chaleur, les mauvaises odeurs, etc. : il n'est pas besoin d'insister beaucoup là-dessus. En un mot, ce moteur se prête très bien à l'exploitation économique des lignes vicinales, de banlieue et de certaines petites lignes d'intérêt local. Ce système ne permet pas l'emploi de voitures automobiles, ce qui contribue à en restreindre l'emploi à l'intérieur des villes.

L'échappement de vapeur aussi peut donner lieu à des objections, quoiqu'il présente moins d'inconvénients que le mélange

de fumée et de vapeur émis par les locomotives ordinaires. Mais il serait difficile de le supprimer complètement.

Le rayon d'action entre deux charges est limité, comme pour tous les systèmes analogues, à la distance que permet d'atteindre l'approvisionnement de force motrice correspondant au poids de locomotive nécessaire à l'adhérence; à poids mort égal ce rayon est à peu près le même que pour l'air comprimé, mais sensiblement inférieur à celui que permet l'emploi des accumulateurs. Il peut facilement atteindre 12 à 13 *km*, ce qui est généralement suffisant. Il serait très désavantageux d'augmenter beaucoup le poids de la locomotive, uniquement pour augmenter la distance franchissable; il est préférable, dans ce cas, sous tous les rapports, d'augmenter le nombre des dépôts de chargement.

§ 106. — Pour augmenter le rayon d'action, sans changer le poids mort des locomotives à eau chaude, on a cherché récemment à adjoindre au grand récipient un petit foyer chargé de coke ou d'anthracite au départ, et fournissant une quantité supplémentaire de calorique, sans qu'on ait besoin de toucher au feu pendant tout le trajet. Le foyer peut être fumivore.

Des moteurs de ce genre ont été essayés dernièrement à Chicago et auraient donné satisfaction; les trajets auraient atteint 30 à 35 *km*, ce qui peut paraître un peu exagéré.

Le réchauffement de l'eau du réservoir se ferait par la vapeur, à la manière ordinaire.

Toutefois la présence d'un foyer nous parait enlever au système une grande partie de son caractère et de ses avantages spéciaux; de pareilles machines peuvent plutôt être considérées comme rentrant dans la catégorie des locomotives à grand volume d'eau.

CHAPITRE V

Systèmes divers de traction mécanique.

§ 107. — Il nous reste à dire quelques mots sur certains systèmes qui ont été proposés et essayés pour la traction mécanique et qui présentent un certain intérêt théorique quoiqu'ils n'aient pas reçu d'applications industrielles.

Locomotives sans feu à lessive de soude de M. Honigmann.

§ 108. — Ces locomotives se composent d'un récipient d'eau à haute température dont la vapeur est utilisée à la production de la force motrice, mais qui reçoit pendant le trajet une transmis-

sion continue de chaleur d'une source spéciale, transmission qui combat l'abaissement de température qui tendrait à se produire dans la masse d'eau chaude.

Cette source n'est autre chose qu'une lessive de soude concentrée et le réservoir d'eau chaude affecte les dispositions d'une chaudière tubulaire ordinaire dont les parties qui seraient léchées par les gaz chauds sont précisément baignées et échauffées par cette lessive.

Le fonctionnement est basé sur la propriété que possèdent les solutions salines d'absorber la vapeur d'eau et de s'échauffer en même temps à une température supérieure à celle de la vapeur absorbée.

La vapeur servant à produire l'échauffement provient de l'échappement de la machine.

Au fur et à mesure de la production de la vapeur, la température de l'eau de la chaudière tend à s'abaisser : il y a alors transmission à travers le faisceau tubulaire, la lessive cédant son calorique à l'eau dont elle tend ainsi à maintenir la température et la pression.

D'autre part, au fur et à mesure de l'absorption la richesse de la dissolution de soude et par suite son point d'ébullition vont en s'abaissant et il arrive un moment où ce point d'ébullition atteignant la température de la lessive, l'absorption s'arrête. Si le condenseur à soude est ouvert à l'air libre, la température de la lessive et celle de l'eau iront en s'abaissant à partir de ce moment ; aussitôt qu'elle sera descendue au-dessous du point d'ébullition l'absorption de la vapeur pourra se produire à nouveau et du calorique sera transmis à la chaudière, ainsi de suite jusqu'à ce que la solution soit arrivée à un degré de dilution tel qu'elle ne puisse plus absorber de vapeur à la tension minima admise pour le fonctionnement de la chaudière. On doit alors remplacer la solution ou la concentrer à nouveau jusqu'au degré primitif.

Au lieu de laisser à l'air libre le condenseur à soude, M. Honigmann a eu l'idée de le fermer; la pression y augmente alors au fur et à mesure de la dilution de la dissolution, mais par contre le point d'ébullition, la température et la pression de la chaudière restent fixes. Il n'y a plus alors aucune espèce d'échappement.

Quand la contre-pression a atteint une certaine valeur, on concentre à nouveau la solution de soude. Dans ces conditions 1 000 *kg* de soude pourraient absorber 460 *kg* de vapeur, produits à 10 *atm*, sans que la contre-pression dépasse 2,5 *atm*.

L'inconvénient du système réside dans l'action énergique

qu'exercent les lessives de soude concentrées sur la tôle de fer, action qui en amène la destruction rapide.

Cette attaque et les difficultés que donnent les manipulations d'agents chimiques à haute température aussi actifs ont empêché le système de se répandre malgré son ingéniosité, son aptitude à effectuer de longs trajets et l'avantage précieux qu'il donnait de supprimer tout échappement.

Moteurs à ammoniaque.

§ 109. — Le principe de ces moteurs est absolument le même que celui des moteurs à eau chaude. L'approvisionnement d'eau ordinaire est seulement remplacé par une dissolution ammoniacale à haute température dont les vapeurs à haute pression sont utilisées à la production de la puissance motrice. Ces vapeurs sont ensuite condensées dans un réservoir d'eau froide grâce à l'affinité de l'ammoniaque pour l'eau. Mais cette condensation dégageant beaucoup de chaleur élève bientôt la température de la dissolution et par suite la contre-pression; au contraire, le dégagement continu de gaz abaisse la température de la dissolution chaude et la tension des vapeurs qu'elle émet. Il arrive donc un moment où l'équilibre tendant à s'établir, les solutions doivent être renouvelées. La dissolution ammoniacale pourrait être avantageusement remplacée par des récipients d'ammoniaque liquéfiée.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur les inconvénients graves que présente l'emploi d'un gaz aussi désagréable que l'ammoniaque pour expliquer la non-réussite du système.

Moteurs à gaz.

§ 110. — On a cherché à plusieurs reprises à utiliser les moteurs à gaz et à pétrole pour la traction mécanique des tramways. Des tentatives en ce sens ont été faites notamment en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis.

Jusqu'à présent elles n'ont guère donné de résultats pratiques bien satisfaisants, par suite des grandes difficultés que présente pour une pareille adaptation le mécanisme encombrant et compliqué des moteurs à gaz, surtout à cause de la faculté que doit avoir le conducteur de ralentir la marche, d'en renverser le sens, d'arrêter ou de repartir à volonté.

D'autre part ces moteurs présentent, à puissance égale, un poids mort beaucoup plus considérable que les moteurs électriques, à air comprimé ou à vapeur; ils nécessitent des dispositions spé-

ciales pour leur inflammation, pour combattre l'échauffement des cylindres, et des volants très lourds pour régulariser leur marche.

Enfin, en admettant même qu'on pût combiner un ensemble satisfaisant à ces diverses conditions, il est plus que probable que les frais de graissage et d'entretien seront infiniment plus considérables qu'avec n'importe quel autre système, le mécanisme délicat de ces moteurs se prêtant très mal à un service aussi dur et aussi irrégulier que celui des tramways.

Pour tourner la difficulté de l'application directe des moteurs à gaz à la traction mécanique, certains inventeurs ont pensé à les employer pour comprimer de l'air qui serait de suite utilisé à la commande des essieux, ou pour actionner une dynamo dont le courant serait employé dans le même but au moyen des moteurs électriques. Il n'est pas besoin de faire ressortir tout ce que de pareilles dispositions ont de peu pratique, disons même de fantaisiste.

Une solution plus intéressante et digne d'être citée est celle du moteur Conelly essayé à Saint-Louis, aux États-Unis et à Londres : la marche du moteur est régulière et continue, mais la transmission du mouvement aux essieux se fait par un plateau de friction sur lequel appuie un galet monté sur un arbre vertical attaquant les essieux par engrenages. Le galet peut se déplacer suivant un diamètre du plateau à friction, de telle sorte que la vitesse de ce dernier restant constante, on peut toutefois modifier la vitesse et le sens de rotation du galet en modifiant le point de contact. L'inflammation était obtenue par le courant d'une batterie d'accumulateurs.

Des essais ont été faits aussi à Dresde par MM. Luhrig et Schwab, qui, après plusieurs tentatives infructueuses, auraient réussi à établir dernièrement une voiture de 24 places susceptible d'effectuer un service régulier; la consommation de gaz ne serait que de 4 à 500 *l* par kilomètre-voiture. Mais même en admettant l'exactitude de ce chiffre qui nous paraît correspondre à une puissance moyenne bien minime, le gaz devant être comprimé à très forte pression dans des réservoirs, doit avoir un prix de revient assez élevé et il est peu probable que le résultat final soit avantageux, toute question d'entretien mise à part.

Malgré les espérances qu'ils ont fait naître, l'emploi des moteurs à gaz ne paraît donc pas appelé à un grand avenir en ce qui concerne la traction mécanique des tramways.

CONCLUSION

Étude comparative des différents systèmes de traction mécanique.

§ 111. — Les différents systèmes que nous avons passés en revue présentent chacun, tant au point de vue de la commodité, du confort et des facilités de l'exploitation, qu'à celui de l'économie, des avantages et des inconvénients que nous avons essayé de faire ressortir afin de guider le choix à faire dans chaque cas.

Il nous reste, pour terminer cette étude, à dire quelques mots sur la manière de faire ces comparaisons et d'en dégager les bases essentielles.

Les points de vue auxquels il faut les faire sont de deux ordres différents :

1° Points de vue techniques, concernant l'innocuité de circulation sur la voie publique, la sécurité des voyageurs, le confort, la vitesse, la sûreté, la souplesse et l'élasticité de l'exploitation;

2° Points de vue financiers, concernant l'économie des frais de premier établissement et des frais d'exploitation.

Nous devons ajouter qu'il est impossible de faire ces comparaisons d'une manière absolue, les circonstances spéciales de chaque application particulière ayant souvent une influence aussi grande que les considérations générales que nous avons essayé de développer dans cette étude.

Point de vue technique.

§ 112. — Le système par câbles funiculaires doit être rangé un peu à part dans cette comparaison. Il ne convient guère, ainsi que nous l'avons vu, que dans des cas spéciaux où il fournit alors une des rares solutions applicables; il peut alors rendre de très grands services. L'installation de Paris-Belleville a montré ce qu'on pouvait attendre et obtenir de ce système judicieusement appliqué et rationnellement exploité; tout porte à croire qu'il pourra rendre les mêmes services dans d'autres cas semblables pouvant se présenter dans certaines villes où l'on a à relier par des communications commodes et rapides des quartiers situés à des niveaux très différents : Paris et Bruxelles, pour ne parler que de ces deux capitales, en offrent beaucoup d'exemples.

§ 113. — Les systèmes à conducteurs électriques constituent un mode de traction qui a pour lui la vogue en ce moment; il est souple, confortable, très apprécié du public, permet de gravir des rampes très raides au moyen de voitures automobiles dont la circulation, même dans des rues étroites et sinueuses, comme par exemple celles du Havre, Saint-Adresse, est des plus faciles; pour ces motifs ce système convient très bien à la traction dans l'intérieur des villes. Mais la nécessité d'un réseau de câbles aériens avec retour par la terre présente à l'intérieur des villes de très sérieux inconvénients sur lesquels nous nous sommes déjà étendus.

Il y a là un aléa qui peut donner de graves mécomptes. Ces inconvénients seront certainement un obstacle à l'extension du système dans les grandes villes européennes où l'on est plus difficile qu'en Amérique.

Ces inconvénients sont sensiblement atténués pour les lignes suburbaines; mais alors l'emploi de voitures séparées n'est plus aussi recherché et l'emploi de l'électricité perd une partie de sa raison d'être.

Les doubles câbles souterrains employés à Buda-Pesth se prêteraient mieux à l'établissement d'un réseau urbain; mais alors on retombe dans les dépenses d'installation excessives.

Toutefois, ce système nous paraît devoir rivaliser avantageusement avec la traction funiculaire pour le service de lignes à fortes rampes, et il donnera, dans ce cas, une économie très sensible, non seulement pour les frais de première installation, mais aussi pour les frais d'exploitation. Il pourra être aussi très avantageusement employé dans certaines lignes urbaines à grand trafic quand le fil aérien ne sera pas toléré.

Par contre, ce système n'est pas à l'abri de tout inconvénient: l'isolement de la ligne est assez difficile à maintenir aux tensions élevées; les caniveaux peuvent être noyés par de fortes pluies d'orage, comme cela est arrivé à Buda-Pesth et a forcé d'interrompre momentanément tout le service.

Des dispositions étudiées récemment avec emploi de caniveaux en fonte auraient permis de réduire considérablement le coût de ces voies; mais il n'en a pas encore été fait d'applications pratiques.

§ 114. — Les accumulateurs fournissent sous beaucoup de rapports un mode de traction idéal pour l'intérieur des villes; ils ne donnent ni fumée, ni odeur, ni échappement d'aucune sorte, don-

nent une traction commode, sûre, confortable, très appréciée des voyageurs et du public et peuvent circuler pendant de longues heures sans nécessiter aucune recharge.

Toutefois, on peut leur reprocher, en outre de leurs désavantages économiques, leur peu d'aptitude à gravir les rampes et à effectuer un service irrégulier avec accroissement momentané du trafic. Il est très difficile à ces automobiles de remorquer une autre voiture ; en particulier celles de la ligne de Saint-Denis qui étaient prévues pour pouvoir traîner au besoin une voiture ordinaire, n'ont jamais, à notre connaissance, effectué, dans ces conditions, un trajet complet.

Les automobiles à air comprimé présentent des avantages pour le service intérieur des villes ; elles ont plus d'indépendance que les automobiles électriques et plus d'élasticité que les automobiles à accumulateurs ; pour ces motifs, elles nous paraissent, toutes choses égales d'ailleurs, préférables à ces voitures dont elles peuvent offrir la commodité et le confortable.

Toutefois, ces automobiles, sont lourdes, et fatiguent beaucoup les voies quand elles ne sont pas très solidement posées.

D'une manière générale, nous croyons, d'ailleurs, que l'on n'a souvent pas grand intérêt à faire circuler, même dans les rues des villes, des automobiles plutôt que des voitures remorquées par locomotives. Nous pensons que, dans beaucoup de cas, il est préférable de laisser à chaque partie du matériel roulant sa véritable fonction : aux voitures de porter les voyageurs, à la locomotive de les remorquer. La suspension de la caisse est plus élastique et la traction incontestablement plus douce et plus agréable ; il n'y a ni grincement d'engrenages, ni trépidations de moteur, ni chaleur, ni mauvaises odeurs qui puissent incommoder les voyageurs.

En outre, les locomotives sont plus libres pour effectuer leurs manœuvres, pour se remplacer l'une l'autre quand elles ont épuisé leur charge, etc., sans qu'on ait à faire subir de déplacement inutile aux voyageurs, ni surtout qu'on ait à les transborder d'une automobile à une autre, au milieu du trajet, comme on le fait dans quelques applications de l'air comprimé.

Les installations de Lille, de Saint-Étienne, de Bruxelles, etc., montrent la facilité avec laquelle on peut arriver à faire circuler des trains dans des rues, même très étroites, pourvu que la circulation n'y soit pas trop intense et le passage de ces trains n'effraye pas plus les chevaux que celui d'une automobile.

§ 116. — Les locomotives à foyer ne peuvent guère être admises à l'intérieur des villes, sauf dans certains centres industriels comme Saint-Étienne, tellement enfumés par eux-mêmes, qu'ils n'ont guère à craindre une source supplémentaire de poussière et de fumée.

Mais l'utilisation directe de la vapeur dans les locomotives sans foyer présente beaucoup d'intérêt et nous paraît fournir une des meilleures solutions pour la traction des trains, surtout des trains de banlieue. Il n'y a guère à leur reprocher, comme nous l'avons vu, que leur échappement de vapeur, et si l'on met à part cet inconvénient, ces locomotives présentent, en commun avec l'air comprimé, les accumulateurs et l'électricité, toutes les qualités de propreté, confortable, rapidité, etc., qu'on peut demander à la traction mécanique.

Point de vue économique.

§ 117. — Toute affaire industrielle n'ayant pour but final qu'un résultat financier, ce point de vue est un des plus intéressants pour les Compagnies exploitantes.

Il est très difficile de tirer des déductions précises des résultats donnés par des installations déjà existantes et les comparaisons des chiffres fournis par différents systèmes appliqués à des lignes différentes n'ont bien souvent aucune valeur sérieuse.

Il est d'abord assez difficile de bien connaître les dépenses afférentes aux divers chefs, d'en dégager ce qui concerne exclusivement la traction, de manière à faire des comparaisons équitables et sur des bases identiques.

D'autre part, les conditions différentes de l'exploitation amènent de telles différences dans les résultats qu'il y a souvent plus d'écart entre ceux donnés par deux applications différentes du même système qu'entre certaines applications de deux systèmes différents; la bonne direction de l'exploitation doit entrer en ligne de compte d'une manière très sérieuse et on relève souvent des différences vraiment étonnantes d'une année à l'autre sur la même ligne suivant l'expérience et l'intelligence des chefs et d'autres circonstances absolument indépendantes des qualités d'un système.

Il va sans dire que le prix de la main-d'œuvre, celui du combustible, la possibilité d'utiliser une force hydraulique, d'exploiter en même temps que la traction un autre service public, comme la lumière, la solidité de la voie, la nature du profil, la fréquence du trafic sont autant de facteurs essentiels.

Aussi ne peut-on obtenir d'indications précises de simples comparaisons de résultats d'exploitation; pour en tirer parti il faut aller plus avant et connaître tous les détails de cette exploitation et la décomposition détaillée des dépenses.

Quand on se trouve en présence d'une application nouvelle, ces comparaisons ont leur utilité ; mais il ne faut pas s'y borner; au contraire l'intelligence et le raisonnement doivent intervenir pour apprécier la meilleure solution à choisir, solution qui ne sera pas la même dans tous les cas.

§ 118. — Le problème est généralement déterminé :

1° Par le tracé et le profil de la ligne;

2° Par la nature de voie que les circonstances conduisent à adopter;

3° Par l'intensité du trafic à établir, c'est-à-dire par le nombre, la capacité des voitures à mettre en circulation et le parcours journalier total qu'elles doivent effectuer.

Les données étant fixées, il s'agit d'y satisfaire avec le moindre capital initial, tout en exploitant le plus économiquement possible de manière à assurer la plus large rémunération aux capitaux engagés dans l'entreprise.

Il y a donc à comparer :

1° Les frais de premier établissement avec les différents systèmes;

2° Les frais d'exploitation présumables.

Et ne pas oublier de tenir compte de l'amortissement pendant la durée de la concession, des frais de renouvellement ou amortissement du matériel mécanique proprement dit et de l'intérêt du capital.

Frais de premier établissement.

§ 119. — Nous bornerons leur étude à ce qui concerne plus spécialement la traction et il nous suffira de rappeler et de condenser ce que nous avons déjà dit en décrivant chaque système en particulier.

Les frais de premier établissement à imputer à la traction mécanique doivent comprendre toutes les dépenses de nature quelconque à faire pour remplacer la traction animale par un des systèmes que nous avons passés en revue.

Ils comprennent donc :

1° Les dépenses de matériel roulant spécial (soit le prix des locomotives de traction, soit la différence entre le prix des automobiles et celui des voitures qu'elles remplacent);

2° Les frais d'installation des usines fixes nécessaires : chaudières, moteurs, compresseurs, dynamos, appareils de chargement, voies spéciales, bâtiments, etc.;

3° Les frais de lignes aériennes ou souterraines et les suppléments de dépenses entraînées pour l'établissement de la voie.

Matériel roulant.

§ 120. — Nous avons vu que le prix des automobiles électriques, à accumulateurs (prix de la batterie déduit) et à air comprimé était sensiblement le même. Le poids mort des premières est plus faible, mais le prix au kilogramme est plus élevé de telle, sorte qu'il y a compensation.

Le prix des locomotives à air comprimé, à eau chaude et à vapeur est à peu près le même, à poids égal, et ce poids est déterminé par des considérations d'adhérence étrangères à la nature du système.

Enfin, dans la plupart des cas, le poids mort pour la traction par locomotives est à peu près le même qu'avec l'emploi d'automobiles.

Aussi peut-on dire qu'en ce qui concerne le matériel roulant les dépenses de premier établissement sont très sensiblement les mêmes pour tous les systèmes; s'il y avait une légère différence elle serait en faveur des voitures électriques, qui, n'ayant pas à se charger fréquemment, peuvent effectuer un parcours journalier un peu plus élevé, ce qui permet d'en réduire le nombre de 15 à 20 0/0.

Les dépenses de matériel roulant pour la traction peuvent s'évaluer en moyenne de *20* à *25 000 f* par voiture de 50 places en circulation.

Matériel des usines fixes.

§ 121. — Sur ce chapitre les différences deviennent très grandes.

Nous avons résumé dans le tableau ci-joint les puissances qu'on donne en moyenne à chaque partie de ces installations fixes, dans les différents systèmes, et pour donner un peu d'uniformité à la comparaison nous avons supposé une ligne présentant une résistance moyenne de 16 *kg* par tonne d'automobile ou de locomotive et de 12 *kg* par tonne de voiture ordinaire.

Ce tableau montre que les dépenses les plus fortes de beaucoup correspondent à l'emploi de l'air comprimé; les systèmes électriques à conducteurs et à accumulateurs viennent ensuite sur la même ligne; les plus faibles dépenses correspondent à l'emploi de la vapeur; elles sont très minimes comparées aux autres.

		FIL AÉRIEN	ACCUMULATEUR	AIR COMPRIMÉ	EAU CHAUDE
Surface de chauffe des chaudières.	Par automobile de 50 pl.	12 m^2	14 m^2	22 m^2	»
	Par locomotive de 10 t...	»	»	16 m^2	9 m^2
	Par voiture de 50 places.	5 m^2	»	9 m^2	4,5 m^2
Puissance des moteurs à vapeur.	Par automobile de 50 pl.	20 *ch*	18 *ch*	35 *ch*	»
	Par locomotive de 10 t...	»	»	23 *ch*	»
	Par voiture de 50 places.	8 *ch*	»	13 *ch*	»
Puissance des dynamos.	Par automobile de 50 pl.	15000 watts	14000 watts	»	»
	Par voiture de 50 places.	6000 watts	»	»	»
Débit des compresseurs d'air.	Par automobile de 50 pl.	»	»	140 *kg*	»
	Par locomotive de 10 t...	»	»	100 *kg*	»
	Par voiture de 50 places.	»	»	50 *kg*	»
DÉPENSES TOTALES (y compris réserves).	Par automobile de 50 pl.	18 000 *f*	18 000 *f*	35 000 *f*	»
	Par locomotive de 10 t...	»	»	23 000 *f*	4 500 *f*
	Par voiture de 50 places.	8 000 *f*	»	13 000 *f*	2 500 *f*

Ces chiffres se rapportent au nombre de voitures, automobiles et locomotives en circulation effective sur la voie, non compris celles en réserve, en chargement ou en réparation.

Ces prix s'entendent pour des installations moyennes, ayant de 8 à 20 voitures en circulation à la fois, et ne sont, bien entendu, qu'approximatifs. Ils sont plus élevés pour les petites installations et moindres pour les grandes.

Lignes, batteries d'accumulateurs, etc.

§ **122.** — Ces frais ne grèvent que les systèmes électriques. Il faut compter avec les accumulateurs sur une dépense de 5 000 *f* par batterie, soit environ **12 000** *f* par voiture en circulation.

Avec le fil aérien, les dépenses sont de 20 à 30 000 *f* le kilomètre.

Avec les conducteurs souterrains, elles sont variables dans de grandes limites, mais toujours très considérables.

§ **123.** — Si nous faisons la somme des différentes dépenses, nous voyons, en résumé, que les différents systèmes de traction mécanique peuvent se diviser en trois groupes :

Le premier, comprenant les funiculaires et les câbles souterrains, très chers de premier établissement, dont la plus forte partie des dépenses provient de la voie, ne pouvant, par suite, con-

venir qu'à des lignes à trafic très intense donnant des recettes très considérables par kilomètre de voie.

Le second groupe, comprenant les systèmes à fil aérien, à accumulateurs et à air comprimé à peu près équivalents au point de vue des dépenses de premier établissement, dépenses qui sont, en général, peu supérieures à celles de la traction animale et oscillent entre 50 et 60 000 *f* par voiture de 50 places en circulation. Ces dépenses se répartissant à peu près par moitié sur le matériel fixe et sur le matériel roulant.

Le troisième groupe, comprenant les systèmes à vapeur, très bon marché de premier établissement, ne nécessitant guère d'autres dépenses que celles du matériel roulant, pouvant rivaliser avec la traction animale sur des lignes à faible trafic où les autres systèmes ne donneraient pas de bons résultats financiers.

Frais d'exploitation.

§ 124. — Pour faciliter les comparaisons, il est bon de décomposer les frais d'exploitation relatifs à la traction en leurs éléments essentiels, de manière à dégager ceux qui donnent lieu à peu près aux mêmes dépenses pour tous les systèmes, de ceux, au contraire, qui amènent des différences notables.

Cette décomposition peut se faire avantageusement de la manière suivante :

1° Personnel et main-d'œuvre.	*a)* Personnel de conduite (machinistes). *b)* Personnel des usines fixes (mécaniciens, chauffeurs, chargeurs nettoyeurs, etc.).
2° Force motrice.	*c)* Combustible et graissage de machines fixes. *a)* Graissage du matériel roulant.
3° Entretien.	*e)* Entretien du matériel fixe. *f)* Entretien du matériel roulant.
4° Charges financières provenant du capital engagé.	*g)* Amortissement, renouvellement du matériel. *h)* Intérêt du capital.

Nous allons faire la comparaison des différents systèmes sur chacun de ces chefs :

a) *Personnel de conduite.* — Ces frais sont à peu de chose près les mêmes pour tous les systèmes, le genre de main-d'œuvre

étant absolument le même. En supposant le prix de cette main-d'œuvre à 0,50 *f* l'heure, les frais de personnel de conduite grèvent le prix de revient du kilomètre-voiture de 0,04 *f* à 0,06 *f* suivant la vitesse de service.

b) *Personnel des usines fixes.* — Les frais les plus élevés sont nécessités par le système à accumulateurs, surtout si l'on fonctionne jour et nuit, ce qui nécessite des équipes doubles. L'air comprimé vient après et en dernier lieu à peu près sur la même ligne, le système à eau chaude qui ne nécessite que des chauffeurs et des chargeurs, et le système à fil aérien qui ne nécessite que des chauffeurs et des mécaniciens-électriciens. Dans ce dernier cas, quand la même usine distribue en même temps la lumière ou quand la force motrice est empruntée à une chute d'eau, les frais de personnel de l'usine électrique ne grèvent le prix de revient du kilomètre-voiture que d'une somme très faible.

c) *Combustible et graissage du matériel fixe.* — Nous avons vu que dans le système à air comprimé, chaque kilogramme de vapeur donnait environ 8 000 *kgm* et dans les trois autres systèmes à peu près le même travail utile, soit 11 à 12 000 *kgm*. Mais les valeurs très différentes du poids mort par place offerte viennent produire de nouvelles différences dans les résultats finaux; en résumé, la consommation de charbon par kilomètre-voiture de 50 places est en moyenne :

De 3,5 *kg* à 4 *kg* avec l'emploi de l'air comprimé;
2,5 *kg* à 3 *kg* avec les systèmes à eau chaude et à accumulateurs;
2 *kg* à 2,5 *kg* avec le système à fil aérien.

En supposant le prix du charbon de 30 *f* la tonne, la dépense qui en résulte par kilomètre-voiture est de :

0,11 *f* à 0,12 *f* pour l'air comprimé;
0,08 *f* à 0,09 *f* pour l'eau chaude et le système à accumulateurs;
0,06 *f* à 0,07 *f* pour le fil aérien.

Il faut ajouter pour le graissage des machines fixes 0,005 *f* à 0,010 *f* à ces chiffres.

d) *Graissage du matériel roulant.* — La dépense est à peu près la même pour tous les systèmes; elle est, d'ailleurs, assez faible, pour que de petites variations sur ce chef n'aient qu'une influence absolument négligeable. Ces dépenses varient de 0,01 *f* à 0,02 *f* le kilomètre-voiture.

e) *Entretien du matériel fixe.* — Ces frais diffèrent peu d'un système à l'autre ; ils sont peut-être un peu plus élevés pour le système à air comprimé qui nécessite le matériel mécanique le plus important, et un peu plus faibles pour le système à eau chaude qui ne comporte qu'une batterie de chaudières. Mais comme ces dépenses sont peu considérables, en général, les différences n'ont pas grande importance en valeur absolue.

f) *Entretien du matériel roulant.* — Le système à accumulateurs se place à part à cause des frais excessifs d'entretien et de renouvellement des batteries d'accumulateurs; en y comprenant ces derniers, les dépenses totales d'entretien du matériel roulant ne sont guère inférieures à 0,18 *f* ou 0,20 *f* le kilomètre-voiture.

Pour les systèmes à air comprimé et à eau chaude, les dépenses sont à peu près les mêmes; en ce qui concerne les systèmes électriques il n'est pas très facile de se prononcer. Les premiers moteurs ont donné lieu à des frais d'entretien et de réparations élevés; mais avec les nouvelles dispositions protégeant complètement les moteurs contre la boue et la poussière, la réduction du nombre des engrenages et l'augmentation de poids donné aux voitures, il n'y a pas de raisons pour que les frais d'entretien soient plus élevés qu'avec les autres systèmes.

h. g) *Intérêt du capital, amortissement et renouvellement du matériel.* — Ces charges dépendent de l'importance des frais de première installation et de la durée du matériel dans les différents cas. En ce qui concerne le matériel fixe, la durée peut être prise à peu près la même pour les engins mécaniques que pour les engins électriques; mais en ce qui concerne le matériel roulant, les données précises manquent un peu, l'expérience sur les moteurs électriques de tramways ne durant pas en Europe depuis assez longtemps. En pratiquant l'amortissement du matériel fixe et roulant en dix ans, les charges qui en résultent pour tous les systèmes sont à peu près les suivantes :

Air comprimé.	0,10 *f* à 0,12 *f*
Systèmes électriques. . . .	0,08 *f* à 0,10 *f*
Système à eau chaude . . .	0,05 *f* à 0,07 *f*

Les dépenses d'amortissement et de renouvellement du matériel et les charges d'intérêt du capital qui viennent s'y ajouter entrent donc dans la composition du prix de revient de la trac-

tion pour une proportion très importante et qu'on a trop souvent tort de négliger.

L'emploi direct de la vapeur possède sous ce rapport un avantage très marqué sur les autres systèmes.

§ 125. — En résumé, et autant qu'il est permis de tirer des conclusions absolues sur un sujet aussi complexe :

L'emploi direct de la vapeur donnera, en général, la solution la plus économique sous le rapport des frais de premier établissement et d'exploitation en tenant compte des charges d'amortissement. Elle conviendra très bien à la traction sur les lignes de banlieue et les petits chemins de fer d'intérêt local.

L'air comprimé, par ses qualités spéciales, convient très bien à la traction des tramways dans l'intérieur des villes, quoique sous le rapport économique il ne nous paraisse occuper que le troisième rang.

Le système électrique à fil aérien se prête parfaitement aux deux services qu'il peut effectuer d'une manière très économique; il donnera même souvent la solution la plus avantageuse sous tous les points de vue quand une chute d'eau (comme le cas s'en présente souvent dans les pays de montagnes) ou une station centrale existante permettront d'obtenir la force motrice à bon marché, ou quand des installations connexes d'éclairage électrique permettront d'avoir une meilleure utilisation des machines et du personnel.

Mais son emploi à l'intérieur de villes prête aux critiques que nous avons déjà énumérées.

Les accumulateurs donneront presque toujours la solution la plus désavantageuse au point de vue financier.

———

TRACTION MÉCANIQUE DES TRAMWAYS

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

CHRONIQUE

N° 175.

SOMMAIRE. — Le paquebot-poste belge *Marie-Henriette*. — Les irrigations dans l'Arizona. — Transmissions électriques dans les usines. — La navigation intérieure aux États-Unis. — Chauffage de wagons par l'électricité.

Le paquebot belge *Marie-Henriette*. — La Société Cockerill a fourni, dernièrement, au gouvernement belge, pour son service entre Ostende et Douvres, un paquebot à roues, la *Marie-Henriette*, dont les résultats de vitesse ont été extrêmement remarquables. Nous empruntons quelques renseignements sur ce navire à l'*Engineering* qui a publié à son sujet, dans les numéros du 23 février et 9 mars dernier, un article très complet (1) et nous les donnons ici avec d'autant plus de plaisir que ce bateau, comme ceux qui l'ont précédé et dont il sera question plus loin, a été construit sous la direction de l'éminent Ingénieur en chef de la Société Cockerill, notre collègue M. J. Kraft de la Saulx.

Les ateliers de Seraing, fondés, comme on sait, par John Cockerill en 1817 ont, dès l'origine, fait de la construction des machines et des coques de navires une de leurs spécialités les plus importantes. Dès 1825, ils ont fourni à la marine hollandaise une machine de 350 *ch* pour la corvette à roues l'*Atlas*. C'était de beaucoup le plus puissant moteur marin de l'époque et il possédait des particularités très probablement uniques. Ce colossal appareil se composait de *trois machines* à balanciers du type ordinaire de l'époque, placées les unes à côté des autres avec les manivelles calées à 120°. Nous croyons avoir entendu dire que ce navire ne réussit pas et que sa machine fut partagée entre deux autres dont l'un reçut un appareil double et l'autre un appareil simple.

Un détail assez intéressant est que, vers 1828, Ericsson vint à Seraing et y passa quelque temps; il donna des plans pour la construction d'une machine à haute pression à condensation par surface et tirage forcé qui fut établie sur le bateau *Ludwig*. La chaudière était formée d'un cylindre contenant une sorte de serpentin et un ventilateur soufflait de l'air dans le cendrier. On eut beaucoup de difficultés avec ce générateur et après avoir dépensé 70 000 *f* en essais, on renonça à continuer. Ericsson retourna en Angleterre, où il s'occupa de construire une locomotive la *Novelty*, pour le concours de Rainhill.

On peut supposer que l'insuccès éprouvé dans les essais dont nous venons de parler firent que, plus tard, Cockerill accueillit avec peu de

(1) Le *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* a publié dans ses numéros des 17 et 24 mars 1894 le même article, évidemment communiqué par la Société Cockerill, avec des dessins plus complets que ceux de l'*Engineering*.

faveur les propositions que lui fit Roentgen de construire des machines compound, ainsi qu'il résulte d'une lettre de notre collègue M. Kraft, à M. Dwelshauvers-Dery, lettre que nous avons reproduite en partie dans la *Chronique* d'octobre 1889.

Parmi les machines marines les plus intéressantes qu'ait construites la Société Cockerill et dont la plupart sont reproduites dans le *Portefeuille* de cette Société, on peut citer celles des paquebots transatlantiques de 250 *ch*, *Congrès*, *Léopold Ier*, etc., des machines horizontales à fourreau pour des corvettes prussiennes, les machines oscillantes à 45° vis-à-vis du bateau du Rhin l'*Ariane*, des machines de divers systèmes pour des remorqueurs, notamment du Volga, des appareils à propulsion hydraulique, etc. Les chantiers de construction des coques, placés d'abord sur la Meuse, furent transportés à Anvers, puis à Hoboken, près de cette ville, où ils se trouvent actuellement.

Les rapports de la Société Cockerill avec le service des paquebots du gouvernement belge entre Ostende et Douvres commencèrent en 1847 par la construction du *Rubis* et de *la Topaze* de 43,20 *m* de longueur et 6,35 *m* de largeur, mus par des machines à basse pression et à fourreau du type Maudslay de 120 *ch* nominaux.

Ces bateaux s'appelaient primitivement la *Ville-d'Ostende* et la *Ville-de-Bruges*; ils furent l'objet de modifications importantes dans leur coque qui fut allongée de 2,75 *m*, ce qui donna un accroissement de vitesse très sensible. Ces modifications ont fait l'objet d'un intéressant mémoire de notre vénéré collègue, M. le baron Prisse, mémoire inséré dans les publications de notre Société en 1857, page 103.

En 1862, la Société construisit pour le même service la *Belgique*, paquebot de 52 *m* sur 6,35 *m* avec machines oscillantes de 160 *ch*, qui existe encore et est employé au service hydrographique sur la côte de Flandre. En 1866, le gouvernement résolut de transformer le service avec des bateaux plus grands et plus rapides et fit construire la *Louise-Marie* par la Société Cockerill. C'était un paquebot de 61 *m* sur 7,20 *m* avec 2,10 *m* de tirant d'eau, mû par des machines oscillantes travaillant à 2,5 *kg* de pression effective et développant 1 550 *ch* indiqués. Le succès de ce bateau amena la construction de six autres semblables en six années consécutives, soit un par an. Le service fut fait avec cette flotte jusqu'en 1885, époque où les progrès réalisés sur les diverses lignes concurrentes obligèrent le gouvernement belge à prendre des mesures pour maintenir son service à la hauteur de ces progrès. Il commanda alors aux ateliers de Seraing le *Prince-Albert* qui, après quelques modifications, atteignit la vitesse de 19 nœuds; la *Flandre* et la *Ville-de-Douvres* suivirent avec des résultats sensiblement égaux. Nous avons donné, dans les *Chroniques* de juillet et août 1892, les résultats des essais de puissance et de consommation faits sur ce dernier bateau. Comme les marchés stipulaient des primes de 10 000 *f* par dixième de nœud obtenu en plus du chiffre garanti, avec un maximum de 100 000 *f*, les constructeurs touchèrent le maximum pour chacun de ces trois bateaux. Peu après le gouvernement acheta deux steamers et accepta l'offre de MM. Denny et Cie, de Dumbarton, de lui fournir un paquebot donnant une vitesse de 20 nœuds. Ce bateau, la *Princesse-Henriette*, donna effec-

tivement 21 nœuds et fut suivi d'un semblable des mêmes constructeurs, la *Princesse-Joséphine*, qui obtint les mêmes résultats.

Le succès qu'amena pour le service d'Ostende l'emploi de ces bateaux rapides conduisit le gouvernement belge à en commander deux autres devant dépasser tous les précédents comme vitesse et installation. La vitesse devait être de 21 nœuds et demi. L'un, le *Léopold II*, fut commandé à MM. Denny et l'autre, la *Marie-Henriette*, à la Société Cockerill. La prime devrait être de 18 000 *f* par dixième de nœud en plus des 21 nœuds et demi avec maximum de 100 000 *f*. Si la vitesse était inférieure à 21 nœuds et demi la pénalité devait être de 12 500 francs par dixième de nœud, et au-dessous de 21 le gouvernement pouvait refuser le bateau. Le tirant d'eau ne devait pas excéder 2 80 *m*, avec 70 *tx* de charbon et 20 de bagages en plus des passagers. Comme il était à désirer de pouvoir faire les essais des deux bateaux dans des conditions aussi identiques que possible, et que la côte de Flandre ne se prête pas à ce genre d'opération à cause du peu de profondeur, il fut stipulé que les essais se feraient à l'entrée de la Clyde. On devait faire quatre parcours entre les phares de Cloch et de Cumbrac, deux dans chaque sens, distance 13,666 milles marins.

Le paquebot de MM. Denny, le *Léopold II*, fut terminé le premier ; il réalisa à l'essai officiel une vitesse de 21,99 nœuds. La *Marie-Henriette* fut terminée au mois de mai 1893 et mit 56 heures d'Anvers à l'embouchure de la Clyde, mais en arrivant elle avait une roue brisée par accident et dut retourner en Belgique pour réparer l'avarie, elle mit seulement 68 heures avec une seule roue, soit 12 heures de plus qu'avec les deux.

Ce ne fut qu'au mois d'août que les essais purent être effectués. Voici les résultats :

Premier parcours, vitesse	. . . .	22,724	nœuds.
Deuxième —	—	21,556	—
Troisième —	—	22,872	—
Quatrième —	—	21,638	—
	Moyenne.	22,2	nœuds.

Le tirant d'eau était seulement de 2,72 *m*, le nombre de tours moyen 52,89, la puissance développée à l'indicateur 8 134 *ch*; la pression aux chaudières se maintenait bien avec 34 1/2 *mm* de hauteur d'eau pour la pression de l'air. Ces résultats se passent de commentaires.

Les dimensions de la *Marie-Henriette* sont les suivantes : longueur entre perpendiculaires 103,63 *m*, largeur 11,58 *m*, largeur hors tambours 22,34 *m*, creux sous le pont principal 4,57 *m*. La coque est entièrement en acier, les ponts sont en pin jaune et les charpentes des tambours en chêne belge. Il y a aussi un peu de teak principalement dans les platsbords, la menuiserie des roufs, etc. Le bateau a deux ponts outre le pont de promenade, qui s'étend d'une extrémité à l'autre.

Sur le premier pont, les machines et chaudières occupent 36 *m* y compris 7 soutes à charbon pouvant contenir 100 *tx* de charbon.

A l'avant entre deux de ces soutes est une cale pour les bagages de

4,20 *m* de longueur, puis un salon pour les voyageurs de 2e classe, une salle à manger de 9 *m* de longueur avec buffet et un salon pour les dames de 6 *m* avec un escalier particulier. Au-dessous de ces installations sont des magasins pour les voiles et autres objets, et à l'avant les logements des marins et des chauffeurs et les puits des chaines.

A l'arrière des machines, au même étage, se trouvent un salon de première classe de 7,80 *m* pour les dames et un semblable pour les hommes de 18 *m* de longueur. Sur le pont supérieur, une longueur de 34,80 *m* est occupée par l'appareil moteur. En avant de celui-ci est la cuisine, puis un panneau pour le service de la cale aux bagages, qui est au-dessous. Le reste, jusqu'à l'extrême avant où sont des logements pour les maitres d'équipage, etc., forme une promenade couverte qui n'est interrompue que par les claires-voies ouvrant sur les salons de deuxième classe placés en dessous, lesquels reçoivent de plus le jour et l'air par des ouvertures pratiquées dans le pont et dans les bords du navire; ces dernières ont 0,35*m* de diamètre et sont garnies de grillages en bronze. Le même pont porte à l'arrière des machines un grand salon pour les dames, de 6 *m* de longueur, communiquant par un grand panneau avec le salon inférieur; après, vient le restaurant de première classe qui n'a pas moins de 18 *m* de longueur sur toute la largeur du navire. Le pont, dont nous nous occupons, déborde la coque en avant et en arrière des tambours et porte dans ces parties, à l'arrière, des cabinets de toilette, etc., et, à l'avant, des cabines pour les mécaniciens et diverses installations accessoires.

Le pont de promenade porte au centre un rouf de 19 *m* de longueur recouvrant les claires-voies des machines. Ce rouf contient un vaste fumoir flanqué de huit cabines luxueusement meublées et contenant chacune deux couchettes; il y a en outre à l'avant de la cheminée antérieure deux grands salons particuliers. Le pont de promenade n'a en dehors de ce rouf d'autres obstructions que les claires-voies des pièces qui sont en dessous et les engins ordinaires, cabestan et guindeaux à l'avant. A l'arrière, il porte un grand rouf de 7,50 *m* de longueur destiné à l'usage de la famille royale et contenant un salon et deux grandes cabines. Plus à l'arrière sont des claires-voies en forme de coupole pour l'éclairage et la ventilation des salons en dessous. Tout à l'arrière sont des cabestans, la manœuvre à bras du gouvernail et un télémoteur de Brown. Six embarcations insubmersibles sont installées sur des portemanteaux métalliques à l'arrière des tambours. La partie arrière du pont de promenade peut être abritée par une tente.

Le toit du rouf central du pont de promenade forme une large plate-forme qui s'étend jusque sur les tambours et porte, en outre, entre les cheminées la chambre du capitaine, et à l'avant de la cheminée antérieure la chambre de manœuvre du gouvernail; de cette plate-forme une passerelle va rejoindre le rouf arrière. Elle porte un télémoteur de Brown, les boussoles et les télégraphes ordinaires. Le navire a un gouvernail à l'avant aussi bien qu'à l'arrière et tous les deux peuvent être manœuvrés depuis la passerelle. Il y a deux cheminées et deux mâts avec un gréement léger, le tout légèrement incliné sur l'arrière, ce qui donne un aspect très satisfaisant.

L'éclairage est entièrement fait par l'électricité, mais des arrangements sont prévus pour qu'en cas d'accident, l'éclairage par l'huile puisse être rapidement substitué au premier.

Le journal anglais décrit avec beaucoup de détails l'aménagement intérieur du navire; nous passerons rapidement sur cette partie en nous contentant de mentionner que l'ameublement et la décoration sont en général, comme il est naturel dans cette circonstance, empruntés au style flamand. On doit signaler le restaurant de première classe pouvant contenir 100 personnes avec 15 tables. A l'extrémité est une magnifique cheminée en chêne sculpté avec foyer garni de cuivre poli et surmontée d'une glace biseautée. Entre les fenêtres se trouvent des panneaux en chêne sculpté représentant des sujets ayant trait au commerce et à l'industrie. Le plafond forme des caissons avec des panneaux peints à la main. Le mobilier est en chêne et les garnitures en velours d'Utrecht. Le plancher, comme celui de toutes les autres pièces, est couvert de tapis de Tournai ou de Bruxelles. Les installations pour le service sont des plus perfectionnées. L'escalier, qui mène directement dans la salle à manger, depuis le pont supérieur, a une balustrade en bronze dans le style flamand d'une exécution remarquable.

Nous ajouterons simplement que les appartements royaux sont du style Louis XV, la menuiserie en noyer sculpté pour les cabines et en bois de rose pour le salon. Les murs sont tendus en velours broché de soie. Le mobilier, chiffonnier, tables, chaises longues, sofas, etc., est en pur style Louis XV. Le fumoir de première classe situé sur la plate-forme entre la cheminée d'avant et la claire-voie des machines, a ses murs ornés de panneaux en faïence de Delft de $1,25 \times 0,75$ *m*. Ces panneaux représentent la Grande Place à Bruxelles, la rive droite de l'Escaut à Anvers, avec les quais bordés de navires, la plage d'Ostende avec le chalet du roi, enfin une vue générale des établissements de Seraing. Entre ces panneaux principaux, il y en a de plus petits de $0,75 \times 0,35$ *m* représentant des sujets se rattachant au commerce et à l'industrie du pays, tels que la pêche aux crevettes à Ostende, les voitures attelées de chiens des laitières flamandes, etc. Les cabines du pont sont aussi meublées d'une façon tout à fait luxueuse.

En plus des six embarcations insubmersibles dont il a été parlé, tous les bancs et objets mobiles qui se trouvent sur le pont sont disposés pour flotter, et il y a à bord 250 bouées de sauvetage.

Les vastes dimensions du navire font que le pont de promenade peut donner place à plus de 400 personnes assises confortablement, avantage très appréciable par le beau temps. Nous arrivons à la partie la plus intéressante pour nous, l'appareil moteur. *(A suivre.)*

Les irrigations dans l'Arizona. — L'État d'Arizona, aux États-Unis, possède dans certaines parties un climat exceptionnel. D'après le bulletin de la station agricole d'essais de l'Université d'Arizona, la région de Yuma est, à une ou deux exceptions près, la localité où il pleut le moins, où il y a le plus grand nombre de jours de soleil, où l'air est le plus sec et enfin où la température est la plus douce en hiver qu'on

rencontre aux États-Unis. On cultive dans la région les oranges, limons, citrons, figues, dattes, raisins, etc., et toute espèce de légumes.

Le Colorado et ses affluents ont toujours assez d'eau pour l'irrigation d'énormes étendues de terrains; seulement il faut élever l'eau, et la disposition du sol et par suite les dépenses considérables qu'exigerait l'établissement de barrages et de réservoirs font qu'on préfère en général employer des moyens mécaniques pour l'irrigation.

L'*Engineering News* cite quelques exemples de ces installations. En 1890 la station d'essais de l'Université établit un matériel sur les bords de la rivière Gila à 20 *km* en amont de Yuma, mais les inondations y firent des dégâts tels qu'on dut l'enlever. On reprit la question en 1892 et on choisit une localité mieux appropriée. Les travaux furent faits en coopération avec la Compagnie des eaux et de l'éclairage de Yuma qui possède près de 3 000 acres de terrains dans le voisinage. Ces terres sont situées à 24 *m* en moyenne au-dessus du niveau moyen du Colorado. La fertilité du sol est telle qu'on était certain de voir couverts les frais de l'élévation de l'eau à cette hauteur.

L'usine élévatoire est à Yuma même et comprend deux chaudières de 150 *ch* chacune avec machine Brown à détente variable par le régulateur et à condensation de 0,45 $\times$ 1,05 *m*, et une pompe Allis à plongeur et double effet de 0,43 $\times$ 1,05, pouvant élever 340 *l* par seconde (soit 600 pouces de mineur), soit 29 000 m^3 par 24 heures, à la vitesse de 67 tours par minute. La vitesse de la pompe à cette allure atteint 2,35 *m* par seconde, mais cela ne parait pas avoir d'inconvénients.

Une année de fonctionnement a montré que, pour élever 29 000 m^3 d'eau à 24 *m* de hauteur en 24 heures, on brûle 10 cordes de bois coûtant 18 *f* la corde sur place. La dépense de combustible ressort donc à 6,20 *f* par 1000 m^3 ou 0,0062 *f* par mètre cube élevé à 24 *m* de hauteur. Il faut y ajouter, bien entendu, la main-d'œuvre, l'entretien et l'amortissement du matériel, machines, pompes, conduites, etc. En tenant compte de tous ces éléments, on peut considérer comme raisonnable la redevance établie à raison de 62 *f* pour 2 1/2 pieds d'eau par acre, ce qui ferait en mesures françaises 1 *f* par jour pour 48 m^3 dans le même temps.

L'eau élevée du fleuve passe d'abord dans un bassin de dépôt et de là elle est conduite aux terrains à irriguer par une conduite de 4 *km* en bois cerclé en fer de 0,65 *m* de diamètre. On a établi sur la propriété un réservoir de 4 000 m^3 qui sert à emmagasiner l'eau en cas d'arrêt de la machine élevatoire.

La quantité d'eau dont on peut disposer et que nous avons vue être de 0,75 *m* de hauteur par an sur la surface, est à peu près le double de ce qu'on emploie ordinairement pour la culture des arbres fruitiers en Californie. Le sol des terres dont il s'agit est du sable argileux sur 1,20 à 6 *m* de profondeur et s'accommode très bien du traitement par les eaux du Colorado qui contiennent beaucoup de matières en suspension.

L'analyse des eaux de ce fleuve, faite tous les jours à Yuma, pendant dix-sept mois, donne les résultats suivants publiés dans le bulletin de la station d'essais.

	Kilogrammes pour 1 *m* par hectare.	Valeur.
Chaux presque tout en carbonate. . .	2 000	»
Azote à 1 50 *f* le *kg*	24	36 *f*
Acide phosphorique à 0,75 *f*	51	38,25
Potasse soluble à 0,70 *f*	40	28
d° insoluble à 0,35 *f*	180	63
Valeur comme fertilisation.		165,25 *f*

On voit que le prix de l'irrigation, qui pour 1 *m* par hectare représente par an 62 *f* par 2 1/2 pieds par acre, ou 200 *f* en nombre rond par mètre de hauteur et par hectare, est compensé pour 165 *f*, soit 80 0/0, par les matières fertilisantes, l'eau proprement dite ne coûte plus que les 20 0/0 du prix payé. De plus, l'argile en suspension qui se trouve dans l'eau modifie peu à peu la nature sablonneuse du sol.

La direction de la station d'essais a fait planter 10 acres de terrains en arbres fruitiers qui ont donné de très bons résultats, et la Compagnie des eaux et de l'éclairage de Yuma a établi un verger de 110 acres (44 *ha*) dont 10 pour chaque espèce, plantés en orangers, citronniers, pêchers, abricotiers, pruniers, figuiers, vignes, etc. Ces plantations commenceront à rapporter en 1896.

On a établi également en aval de Yuma un matériel d'irrigation prenant l'eau au Colorado et comprenant une pompe centrifuge actionnée par une machine Westinghouse de 45 *ch*. Aux basses eaux la hauteur d'élévation est de 4,80 *m* et au niveau moyen de 4,20 *m*. La pompe élève 380 *l* par seconde. On a commencé à planter les arbres en 1892.

A Willcox, Arizona on a établi un puits de 2,40 × 4,80 et de 7,50 *m* de profondeur et on y a placé une pompe centrifuge mue par une machine à vapeur; cette pompe élève 20 *l* environ par seconde, soit 1 800 m^3 par 24 heures. Avec une consommation d'une corde de bois par 24 heures, on recouvre 2 *ha* d'une couche d'eau de 80 *mm* de hauteur, ce qui est la proportion usuelle dans le pays. Avec la proportion d'eau qu'amène la pluie, cinq ou six irrigations par an suffisent pour l'alfalfa, quatre pour les arbres fruitiers, deux pour le blé, le maïs et les fèves.

A la fin de 1893, la Compagnie a fait l'acquisition d'un moteur à gazoline garanti pour donner 35 *ch* avec une consommation de 14 *l* de liquide par heure et une pompe centrifuge pouvant élever 10 m^3 par minute à une hauteur de 10,50 *m*. Avec une force de 35 *ch* ce matériel pourrait donc donner par jour un pied d'eau sur 11 1/2 acres, soit 0,30 *m* sur 4,6 *ha* avec une consommation de 320 *l* de gazoline valant à peu près à 0,30 *f* le litre, la dépense de combustible devait ainsi ressortir à 96 *f*, ce qui fait 6,60 *f* par 1000 m^3 élevés à 10,50 *m*. Ramenée au cheval en eau montée, cette consommation de combustible serait de 0,16 *f* par cheval-heure. Mais on fait observer que le prix de 0,30 *f* le litre est tout à fait exceptionnel; la gazoline ne vaut que 0,075 *f* le litre dans l'Est et 0,15 *f* sur la côte du Pacifique; le prix indiqué pourrait donc être abaissé notablement dès qu'il y aurait une consommation un peu importante.

L'avantage du moteur à gazoline est qu'il n'exige pas de surveillance,

de sorte qu'il n'y a pas besoin d'un homme uniquement employé à la machine.

Les conclusions de M. Gulley, directeur de la station d'essais de l'Université d'Arizona, aux rapports duquel tout ce qui précède est emprunté, sont que, dans ce pays, on peut toujours élever l'eau pour les irrigations par des moyens mécaniques à des hauteurs de 4,50 à 12 *m* avec une dépense qui n'excède pas les redevances qu'on peut raisonnablement demander pour son emploi.

Transmissions électriques dans les usines. — M. A. Ferrier, Ingénieur civil, donne dans le *Journal de l'Électricité* la description d'une transmission électrique qu'il a installée dans l'usine créée à Saint-Étienne par MM. Forest et Cie, pour la fabrication des étoffes et des rubans. En présence de l'application, vraiment nouvelle qui a été faite dans cette circonstance, de l'électricité, nous croyons intéressant de reproduire cette description.

L'usine occupe une surface de 3 300 m^2. L'atelier contenant les moteurs a 47 *m* de longueur sur 35 *m* de largeur ; sa toiture est en sheds. Il comprend 100 métiers pour articles spéciaux, fonctionnant électriquement. A l'usine a été annexé un atelier d'ajustage et un atelier de menuiserie. A la suite de l'atelier de tissage se trouve celui de dévidage fonctionnant aussi électriquement. Enfin, au quatrième étage, sous combles, on a installé un dévidage de soies grèges fonctionnant électriquement. Le personnel de l'usine comprend environ 500 personnes.

Lors de l'achèvement des constructions en 1891, divers projets furent mis à l'étude pour l'installation mécanique. Comme la question de l'éclairage électrique se présentait également, l'idée fut agitée de commander d'une façon générale toute l'usine au moyen de moteurs individuels sur chaque métier ou dans chaque atelier.

Le problème posé était celui-ci : Quels avantages trouverait-on à commander une usine de cent métiers par petits moteurs électriques installés sur chaque métier ou machine, au lieu d'employer comme d'habitude des transmissions et courroies ?

Les avantages qu'on espérait trouver dans l'application du système furent ceux-ci :

1° Facilité de placer les métiers dans la position la plus convenable par rapport au jour et aux emplacements, quelle qu'en soit la distance de la machine génératrice de force ; de ce fait, indépendance absolue de chaque métier ou atelier et facilité de régler et de faire varier à volonté leur vitesse ;

2° Vu le volume réduit et la simplicité des moteurs eux-mêmes, facilité de les fixer sur les métiers en les attelant directement avec les arbres de commande des métiers ; entretien et surveillance ainsi que mise en marche et arrêts réduits à leur plus simple expression ;

3° Rendement plutôt supérieur qu'équivalent à celui de l'entrainement mécanique, attendu que la force dépensée est toujours proportionnelle au nombre des métiers battant, aucune transmission ne travaillant inutilement.

4° Suppression à peu près complète des arbres de transmission et des courroies, de leur encombrement et de leur entretien onéreux, et des dangers constants qu'offre leur voisinage pour l'ouvrier. Suppression des poussières soulevées et brassées dans la journée par les mouvements des courroies et qui se déposent sur les métiers dès leur arrêt ;

5° Autre considération importante dans un pays minier comme Saint-Étienne : les mouvements du sol peuvent produire sur les arbres de transmission des dénivellations dont les conséquences sont déplorables au point de vue de la dépense de force ; avec une transmission électrique, cet inconvénient n'existe pas, il n'y a qu'à caler un métier s'il est dénivelé ;

6° Tenant compte de la nécessité d'installer des machines dynamos pour le service de l'éclairage électrique, une installation de moteurs ne saurait être, comme prix de revient, bien différente de celle par transmission mécanique, surtout lorsqu'il s'agit de desservir des ateliers éloignés ou détournés, comme par exemple le dévidage du quatrième étage dont nous avons parlé, la canalisation électrique étant incontestablement la plus économique, comparée à tous les autres systèmes.

Frappés des avantages qui précèdent, MM. Forest et C[ie] adoptèrent définitivement, avec juste raison, en même temps que l'éclairage, la distribution de force par moteurs électriques. Après un examen des projets présentés, l'installation générale fut confiée à la maison Vallot et Pauze, de Saint-Étienne, qui l'a exécutée avec plein succès ; les résultats obtenus et confirmés aujourd'hui, après bientôt deux ans de fonctionnement, justifient pleinement la confiance de MM. Forest dans la supériorité du système électrique comme distribution de force.

Après des expériences répétées, on accepta particulièrement les moteurs du système Olivet et C[ie], qui, par leur rendement variant entre 55 et 70 0/0, suivant les forces, et leur construction soignée et robuste, semblaient les mieux appropriés aux emplois prévus ; d'autre part, le collecteur était garanti dix ans, grâce à sa nature et au système perfectionné des balais en charbon et de leur monture. Du reste, après dix-huit mois de marche environ, les collecteurs sont pour la grande généralité aussi intacts que le premier jour.

La force motrice est fournie par une machine à vapeur système Piguet à condensation, de 120 *ch*. Deux chaudières Mac-Nicol tubulaires, construites par M. Broyot, de Saint-Étienne, fournissent la vapeur pour la machine et le chauffage général des ateliers, bureaux et magasins.

La partie électrique comprend : deux dynamos Sautter-Harlé de 42 000 watts à 70 volts tournant à 600 tours. Une seule poulie avec paliers doubles, placée entre les deux dynamos sur une même ligne les entraîne au moyen de manchons Raffard munis de débrayages. Ces deux dynamos sont à volonté utilisables pour le transport de force ou l'éclairage. Un grand tableau de 4 m^2 contient les appareils de mesure et de manœuvre pour la commande des divers services.

(A suivre.)

La navigation intérieure aux États-Unis. — On sait que la navigation intérieure a un trafic énorme aux États-Unis. Les grands

lacs possèdent une flotte de 3 700 navires tant à voiles qu'à vapeur d'un tonnage collectif de 1 250 000 *tx*. Ces navires ont transporté, en 1890, 63 250 000 *tx* de fret représentant un trafic de 18 849 681 384 *tx* à un mille, soit 27 1/2 0/0 du trafic de tous les chemins de fer des Etats-Unis.

Sur les 25 700 *km* de voies navigables représentés par le Mississipi et ses affluents, il y avait en 1890, 7 445 bateaux de toute espèce d'un tonnage de 3 400 000 *tx*. Dans cette année cette flotte a transporté 30 millions de tonnes de fret et 11 millions de voyageurs. L'Hudson a, dans la même période, transporté 5 millions de passagers et 15 millions de tonnes de marchandises, non compris 3 1/2 millions de tonnes qui ont passé par le fleuve pour aller des canaux de l'Etat de New-York à la mer.

Cet énorme trafic tient au très bas prix du fret, de même qu'il détermine en partie ce bas prix. Des bateaux portant 2 700 *tx* vont de Duluth à Buffalo en 3 1/2 jours, avec une dépense moyenne de 600 *f* par jour, soit 2 100 *f* pour le trajet total. Si on estime la distance à 1 600 *km*, on trouve un prix de revient de 0,77 *f* par tonne et de *un vingtième de centime* par tonne et par kilomètre. Comme cette voie de communication peut recevoir de grands navires allant à une vitesse considérable, les prix sont bien au-dessous de ceux qu'on obtient sur les canaux ; ainsi la moyenne du fret pour les blés n'était pas, en 1890, de Buffalo à New-York par le canal de l'Erié et l'Hudson, de moins de 1,20 *f* par tonne, et sur le fleuve le prix est moindre que sur le canal. Malgré le bas prix que nous venons de signaler, on va faire encore des travaux considérables pour améliorer les communications des grands lacs entre Chicago, Duluth et Buffalo.

Chauffage de wagons par l'électricité. — Le Chemin de fer électrique à crémaillère du Salève (Haute-Savoie) est exploité au moyen de voitures automobiles qui prennent sur un conducteur latéral à la voie le courant provenant d'une station où les dynamos génératrices sont actionnées par des turbines. En hiver les voitures sont chauffées par l'électricité. Voici sur ces dispositions quelques renseignements empruntés à une lettre du directeur de la Compagnie, M. P. Dapples, adressée au *Bulletin de la Société Vaudoise des Ingénieurs et Architectes :*

Si on a pu songer à adopter ce système de chauffage qui nécessite une dépense de force relativement considérable, environ 10 *ch* par voiture, c'est grâce au fait que, pendant la mauvaise saison, une assez grande partie de l'énergie dont on dispose reste inutilisée. En effet, au gros de l'hiver, il arrive rarement qu'on ait plus de quatre voitures en service, et, comme sur ces quatre voitures, il n'y en a jamais plus de trois gravissant simultanément les fortes rampes (l'autre se trouvant à la descente), on peut facilement distraire 30 à 40 *ch* pour le chauffage.

Les appareils de chauffage consistent en deux cadres de résistance placés à l'intérieur de la voiture, sous les banquettes, contre les parois extrêmes de la caisse. Les dimensions principales de ces cadres sont : 0,820 *m* de longueur sur 0,300 *m* de hauteur et 0,180 *m* de largeur. Chaque cadre renferme 42 boudins en fil de fer galvanisé de 1 1/2 *mm*

d'épaisseur. Les boudins ont 24 *mm* de diamètre et la longueur du fil dans un boudin est de 5,92 *m*. La longueur totale du fil de fer nécessaire au chauffage d'une voiture est de 500 *m* (dans les deux cadres). Le courant se prend directement sur le curseur qui frotte sur le rail conducteur et passe dans les boudins qui sont couplés en tension. Les deux cadres d'une voiture sont également couplés en tension.

Le courant absorbé est de 15 ampères qui, à une tension de 500 volts, représentent environ 10 *ch*. La température du fil de fer étant portée à 100 degrés, l'air ambiant se réchauffe très rapidement. Même par les plus grands froids l'on obtient au bout de 10 à 15 minutes de circulation du courant une température de 15 à 20 degrés dans l'intérieur de la voiture. Le chauffage peut être actionné ou supprimé au moyen d'un interrupteur placé sur la plate-forme d'avant de la voiture et qui est manœuvré par le contrôleur.

Les cadres de résistance peuvent être transportés d'une voiture à l'autre avec la plus grande facilité; les boudins sont protégés par une toile métallique. Cette installation, qui a été faite à l'atelier du chemin de fer à Etrembières, a donné de bons résultats et a fonctionné tout l'hiver à l'entière satisfaction des voyageurs. Le prix de revient des appareils et des prises du courant est d'environ 60 *f* par voiture.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MAI 1894

Rapport de M. H. FONTAINE, sur **les appareils à adhérence magnétique,** de M. de BOVET.

Sur quelques applications du magnétisme à la mécanique industrielle, par M. de BOVET.

Une des principales applications et peut-être la plus importante est celle qui a été faite par notre collègue à un bateau toueur de la Compagnie du Touage de la Basse-Seine et de l'Oise et dont la description a été donnée par M. de Bovet, dans le bulletin de novembre 1892, pages 909 et suivantes. Nous n'avons donc pas besoin d'insister sur ce sujet. Parmi les autres applications décrites dans la première note, figurent les questions suivantes : transmissions par chaines non calibrées, freins de chemins de fer, poulies de transmission et embrayages. Il est décrit un certain nombre de dispositions pour ces derniers appareils auxquels l'emploi de l'adhérence magnétique permet de jouer utilement le rôle de limiteur de force. Ces dispositions sont en outre tout à fait indiquées dans les appareils de levage mus par l'électricité dont l'usage devient de plus en plus fréquent.

Rapport de M. ED. SIMON sur la **Manufacture de paillons métalliques** de M. JEAN BAR, à Rantigny (Oise).

Ces paillons sont de minces feuilles tantôt de cuivre pur, tantôt de cuivre plaqué d'or ou d'argent, quelquefois teintes en couleurs vives, qui servent à l'encartage des boutons, à la confection de fleurs artificielles, au sertissage de pierres fausses ou perles, à l'ornementation de costumes, etc.

L'usine dont il s'agit est considérable, elle emploie deux moteurs, une roue hydraulique et une machine à vapeur de 300 *ch*.

La fabrication des paillons exige des matières extrêmement pures. Les lingots, une fois coulés, sont martelés au rouge vif, puis laminés en barres de 20 *mm* d'épaisseur. C'est à cet état qu'ils sont plaqués d'argent, s'il y a lieu, puis des laminages successifs amènent le métal à une épaisseur de 7/10 de millimètre. On le recuit dans des fours où la température, qui ne dépasse pas le rouge sombre, est réglée par des pyromètres. De nouveaux passages au laminoir donnent l'épaisseur finale qui varie de 1 1/2 à 3 centièmes de millimètre. Les tablettes formées de 4, 6 ou 8 feuilles sont alors affranchies, puis encartées par paquets de 100 ou roulées par 500.

L'usine consomme annuellement, en moyenne, 150 000 *kg* de cuivre rouge, 5 000 d'argent, 100 de platine et 5 *kg* d'or fin.

Notre collègue M. Ed. Simon fait remarquer avec juste raison que cette industrie très prospère est menacée par l'application rigoureuse de la loi du 2 novembre 1892 sur le travail des enfants dans les manufactures; les usines de ce genre emploient beaucoup d'enfants et de femmes et on conçoit l'impraticabilité d'une réglementation qui impose des temps de présence différents à des personnes tenues de travailler ensemble pour s'entr'aider. Il est à désirer qu'on revise la loi dans le sens d'une unification à un taux raisonnable de la journée, des femmes, des enfants et des adultes, sans quoi certaines spécialités industrielles intéressantes, comme celle que décrit M. Simon, verraient leur existence sérieusement compromise.

Rapport de M. Vieille sur l'ouvrage de M. Daniel, intitulé : « **Les explosifs industriels, le grisou et les poussières de houille** ».

Rapport de M. Davanne sur **l'appareil de chromophotographie,** présenté par M. A Londe.

Cet appareil comprend 12 objectifs ayant chacun un obturateur muni d'un déclenchement électrique. Il est caractérisé par la possibilité de faire varier et la durée de pose et les intervalles de chaque épreuve, celle-ci pouvant être répartie uniformément sur la durée d'un phénomène quelconque, soit rapide, soit lent. On peut arriver jusqu'à 12 épreuves par seconde. On obtient ainsi des résultats fort curieux, par exemple les différentes allures d'un cheval ou des études d'animaux en mouvement, des études de vagues, les différentes positions successives d'un ouvrier, par exemple un forgeron, etc.

Les machines frigorifiques, par M. C. Linde. (Traduit du *Journal of the Society of Arts*.)

L'auteur s'est proposé dans ce travail de résoudre les trois questions suivantes :

1° Quel est le rendement théorique des machines frigorifiques ? ou le rapport entre les calories dépensées et le froid recueilli ?

2° Par quelle méthode peut-on obtenir ce rendement ?

3° Quel est le rendement réel des machines actuelles ?

Il examine successivement le cas des deux séries de machines frigorifiques, celles qui opèrent par compression et détente de gaz permanents, l'air par exemple, et celles qui agissent par la vaporisation d'un liquide volatil ramené ensuite à l'état liquide par compression ou absorption.

Fils de fer et d'acier, par J. P. Bedson. (Traduit de l'*Engineering*.)

Cette note donne l'historique de la fabrication des fils de fer et d'acier qui paraît avoir commencé en Angleterre en 1663. Birmingham fut longtemps le centre de cette fabrication. Le développement de la télé-

graphie électrique lui donna un très grand essor. A partir de 1870 on commença à employer l'acier Bessemer, mais, en 1884, il s'opère une véritable révolution dans l'industrie des fils métalliques à la suite de l'apparition du métal préparé par les procédés basiques de Thomas et Gilchrist.

L'auteur décrit quelques perfectionnements récents apportés dans les appareils de laminage pour les verges et donne quelques renseignements statistiques sur la production des fils métalliques dans les divers pays. En Angleterre elle est de 100 à 120 000 *t*, en Allemagne et dans le grand-duché de Luxembourg, la production a atteint en 1891 le chiffre total de 400 000 *t*, en Amérique elle a été pour 1892 de 637 000 *t*.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Avril 1894.

Prix décernés aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, en 1892.

Recherches expérimentales sur les **pièces droites chargées par bout**, par M. de Preaudeau, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

L'auteur fait tout d'abord remarquer que les études théoriques et les formules pratiques relatives à la compression des pièces droites chargées par bout se rapportent ordinairement au cas où les charges sont appliquées sur l'axe des pièces. Il en résulte que l'application de ces théories ou de ces formules aux constructions rivées devrait être limitée aux pièces symétriques et symétriquement chargées et ne pas s'étendre, comme on le fait le plus souvent en France, à toutes les pièces chargées par bout, quels que soient leur forme et le point d'application des charges qu'elles supportent.

En ce qui concerne la construction des ponts, on ne devrait donc pas calculer les pièces des treillis des poutres à âme unique, dans lesquelles les diagonales sont adossées et par conséquent chargées suivant leurs semelles, comme les pièces des treillis symétriques à âme double, chargées suivant leur axe.

L'auteur donne ici le résultat d'expériences faites pour étudier la déformation de pièces *aboutées*, suivant qu'elles sont centrées ou chargées excentriquement ; il expose les formules qui résument ces expériences et termine par quelques règles de construction au moyen desquelles on peut, tout en tenant compte des faits observés, simplifier l'usage des formules expérimentales.

MM. Bauschinger et Considère ont fait, l'un en 1887, l'autre en 1889, des expériences sur la compression dans lesquelles ils ont opéré l'un et l'autre sur des pièces excentrées, mais ils ne paraissent pas en avoir tiré des conclusions bien nettes, ce qui tient à la méthode suivie par eux, dans

laquelle la rupture de la pièce excentrée se produisait par flexion et non par flambement.

Dans les expériences qui font l'objet de la note, on s'est servi d'une machine d'essai qui se trouve au Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, et qui peut donner un effort d'environ 60 *t*. Elle est disposée pour agir par traction ou par compression et on a employé diverses dispositions pour opérer la pression excentriquement par bout. On a soumis aux essais des pièces présentant huit formes différentes, T, croix, U, équerre, rond, plein et creux, etc., avec ou sans assemblage.

Les expériences se divisent en trois séries :

1° Étude expérimentale de la flexion des pièces symétriques, chargées excentriquement par bout ;

2° Étude expérimentale de la flexion des pièces symétriques, soumises par bout à des efforts excentriques de traction ;

3° Étude expérimentale de la flexion des pièces à section dissymétrique soumises par bout à des efforts de compression.

Ces recherches ont abouti à l'établissement d'un certain nombre de formules pour la détermination de la section des pièces soumises dans les conditions qui précèdent à des efforts donnés.

L'auteur termine en émettant le vœu qu'il soit procédé à des essais analogues sur la résistance des aciers au flambement. M. Considère avait, dans un travail présenté au Congrès international des procédés de construction en 1889, déduit de ses expériences sur l'acier que les constructions en acier doivent être composées d'éléments pour lesquels le rapport de la longueur au rayon de giration $\frac{l}{r}$ ou longueur relative doit être plus petit que pour les constructions en fer, tandis qu'on est tenté de faire le contraire, et d'employer des pièces d'autant plus grêles que le métal est plus résistant. Cette considération tendrait à diminuer l'intérêt que peut présenter l'emploi de l'acier pour les ouvrages de dimensions moyennes qui comportent l'emploi de poutres à âme simple ; l'acier serait réservé aux poutres à âme double dès que la portée serait assez grande pour que leur emploi fût économique. Il est pour cela désirable de voir vérifier par voie expérimentale les flexibilités comparées des pièces comprimées en acier et en fer.

ANNALES DES MINES

5me livraison de 1894.

La richesse minérale de la Nouvelle-Zélande, par M. de Launay, Ingénieur des mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

La valeur totale de la production minière de la Nouvelle-Zélande a été, pour 1892, de 34 millions de francs en nombre rond ; sur ce total

l'or entre pour 24 millions, le charbon pour 9,5, le reste est formé par l'argent extrait des gisements aurifères et par quelques minerais pour des sommes assez faibles.

La production de l'or ne date que de 1877 ; elle a été un moment beaucoup plus forte qu'à présent, puisqu'elle a atteint, en 1886, le chiffre élevé de 70 millions de francs. Le développement des exploitations houillères est récent. Les gisements sont très considérables, mais la valeur du charbon est très variable ; à côté de houilles excellentes, on en trouve d'inférieures.

On peut signaler parmi les minerais des gisements importants de schéelite qu'on a commencé à exploiter et qui ont un intérêt sérieux pour l'industrie française qui se préoccupe actuellement de se procurer du tungstène. La Nouvelle-Zélande possède des sources chaudes qui présentent tant au point de vue des phénomènes mécaniques qu'à celui des réactions chimiques, une remarquable analogie avec celles d'Islande.

Note sur les **impôts des mines en Prusse**, par M. Ichon, Ingénieur en chef des mines.

Des dispositions récentes ont achevé d'assimiler en Prusse l'exploitation des mines à toute autre exploitation industrielle. Ainsi deux lois du 14 juillet 1893, l'une prescrivant la suppression de divers impôts perçus jusqu'alors par l'État, l'autre relative aux impositions communales, sont venues modifier profondément la situation des exploitants de mines en matière d'impôts. Les exploitants n'auront plus à payer à l'État que l'impôt sur le revenu, mais ils resteront soumis, vis-à-vis des communes, à l'impôt sur le revenu, à l'impôt industriel, à l'impôt foncier et à des rétributions et contingents divers.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de Mai 1894.

Notice nécrologique sur M. **Georges Steinbach**, par M. Iwan Zuber.

Détermination du groupement atomique qui différencie les dérivés colorés des dérivés incolores du méthane deux ou trois fois phénylé, par M. A. Rosenstiehl.

Note sur la **fabrication du rouge de Battik,** sans mordant, par M. J. Depierre.

Sur les **dérivés de la série des oxozines et des eurhodines**, par M. Ch. Lauth.

Exposition Universelle de Chicago. — Notes et documents présentes par M. Ch. Pierron *(suite).*

Dans cette partie, l'auteur traite la question des dynamos qui offrent en général, aux Etats-Unis, la particularité d'avoir des masses de fer très grandes comparativement au cuivre employé dans l'enroulement. La raison doit en être surtout le désir d'avoir des machines qui puissent travailler pendant un temps court à régime forcé, au détriment du rendement, il est vrai, mais sans qu'on ait à craindre un échauffement excessif des organes. La note décrit la disposition employée sur plusieurs systèmes pour régler le déplacement des brosses. Elle donne aussi quelques renseignements sur la grande machine à douze pôles montée par la General Electric Cy, à la station génératrice de l'Intramural à l'Exposition, machine qui, à 80 tours, pouvait donner 2 000 kilowatts pendant un court espace de temps. On trouve également des détails sur l'installation des conducteurs aériens et souterrains et sur les réceptrices employées pour la traction électrique des tramways.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 27. — *7 Juillet 1894.*

Notes d'un voyage d'études en Amérique. — Le pont projeté sur l'Hudson entre New-York et Jersey City, par G. Barkhausen.

Étude sur la résistance des poutres au flambement, par R. Bredt.

Machines à gaz et petits moteurs à l'Exposition de Chicago en 1893, par Fr. Freytag *(suite).*

Locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite).*

Groupe de Carlsruhe. — Moteur Schmidt à vapeur très surchauffée.

Variétés. — Traitement électrique du cuivre. — Huitième congrès international d'hygiène et de démographie. — Le 70e anniversaire de la fondation de l'école industrielle de Hagen.

Correspondance. — Les machines-outils à l'Exposition de Chicago.

N° 28. — *14 Juillet 1894.*

Nouveaux torpilleurs de troisième classe de la marine des États-Unis, par C. Busley.

Machines américaines pour l'industrie textile à l'Exposition de Chicago en 1893, par G. Rohn.

Étude sur la résistance des poutres au flambement, par R. Bredt *(suite):*

Machines à gaz et petits moteurs à l'Exposition de Chicago en 1893, par Fr. Freytag *(fin).*

La science de l'électro-chimie à l'heure actuelle et la technologie de l'avenir, par le professeur Dr Ostwald.

Groupe de Chemnitz. — Le papier autrefois et aujourd'hui.

Pour la Chronique et les Comptes rendus,

A. MALLET.

Le Secrétaire Général, gérant responsable,

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 15404-8-94. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

BULLETIN

D'AOUT 1894

N° 8

Sommaire de la séance du 3 août 1894.

Mémoires contenus dans le Bulletin d'août 1894:

10° *Étude sur l'exploitation du métropolitain de Berlin*, par M. P. Haag, page 279 ;

11° *L'Exposition d'Anvers*, par M. F.-L. Barbier, page 294 ;

12° *Compte rendu du concours des voitures automobiles*, par M. G. Collin, page 321 ;

13° *Chronique n° 176*, par M. A. Mallet, page 339 ;

14° *Comptes rendus*, id. page 352 ;

15° *Planches nos 117 et 118.*

Pendant le mois d'août 1894, la Société a reçu :

33990 — De M. Ed. Sauvage. *Introduction à l'étude des moteurs à gaz* (in-8° de 32 p.). Lille, Lefebvre-Ducrocq, 1894.

33991 — De l'University of the State of New York. *Bulletin of the New York State Museum.* Vol. III, n° 11. April 1893. Albany, 1893.

33992 — De la même. *New York State Museum. 45e Annual Report of the Regents for the year 1891.* Albany. 1892.

33993 — De la même. *New York State Museum. 46e Annual Report of the Regents for the year 1892.* Albany, 1893.

33994 — De la même. *University of the State of New York. 105e Annual Report of the Regents for the year 1891.* Albany, 1893.

33995 — De la même. *University of the State of New York. 106e Annual Reportof the Regents for the year 1892.* Albany, 1893.

33996 — De M. N.-J. Raffard (M. de la S.). *Mémoire sur les procédés employés en Angleterre pour le traitement du fer par le moyen de la houille*, par A.-H. de Bonnard (in-8° de 52 p. et 1 pl.). An XIII.

33997 — Du même (M. de la S.). *Rapport fait par M. de Prony sur la nouvelle et l'ancienne machines à vapeur établies à Paris, au Gros-Caillou* (in-8° de 100 p. avec 1 pl.). Paris, Mme Huzard, 1826.

33998 — De M. F. de Mas. *Recherches expérimentales sur le matériel de*
33999 *la batellerie. 1er, 2e et 3e fascicules* (in-4°). Paris, Imprimerie
34000 nationale, 1890-1893-1894.

34001 — Du Ministère des Travaux publics. *Recherches expérimentales sur le matériel de la batellerie*, par F. de Mas. 3e fascicule (in-4°). Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34002 — De l'Accademia dei Lincei. *Atti della R. Accademia dei Lincei. Anno CCXCL, 1894. Rendiconto dell'Adunanza solenne del 3 Guigno 1894* (p. 143 à 186, in-4°). Roma, 1894.

34003 — De M. Pierre Paul (M. de la S.). *De la vinification (Analyse et Avenir)* (in-18 de 281 p.). Paris, J. Fritsch, 1894.

34004 — De l'Association Amicale des Ingénieurs Électriciens, fondée le 22 janvier 1893. *Mémoires et compte rendu des travaux. Année 1894, n° 1.* Paris, siège de l'Association, 1894.

34005 — Du North of England Institute of Mining and Mechanical Engi-
34006 neers. *An Account of the Strata of Northumberland and Durham as proved by Borings and Sinkings*. A.-B., L.-R. (2 vol. grand in-8°). Newcastle-upon-Tyne, 1878 et 1887.

34007 — De M. E. Delecroix. *Statistique des houillères en France et en Belgique, 11e année, janvier 1894*. Paris, L. Danel, 1894.

34008 — De M. G. Hanarte (M. de la S.). *Du creusement des galeries dans les roches dures sans l'emploi des explosifs* (in-8° de 11 p.). Mons, 1883.

34009 — Du même (M. de la S.). *Notices succinctes relatives à des appareils spéciaux pour les mines et l'industrie* (petit in-8° de 15 p.). Mons.

34010 — Du même (M. de la S.). *Les dégagements instantanés d'acide carbonique aux mines de Rochebelle (Gard)* (in-8° de 14 p. avec 2 pl.). Liège, 1887.

34011 — Du même (M. de la S.). *Sur la ventilation des mines* (in-8° de 42 p. avec 4 pl.). Liège, 1893.

34012 — Du même (M. de la S.). *Transmission du travail à distance par l'air comprimé* (in-8° de 26 p. avec 3 pl.). Liège, 1891.

34013 — De M. Ch. Janet (M. de la S.). *1° Excursions géologiques aux environs de Beauvais. 2° Note sur un Echinocorys carinatus présentant neuf pores génitaux. 3° Note sur les orifices génitaux, multiples, sur l'extension des pores madréporiques, etc. 4° Note sur trois nouvelles Belemnites sénoniennes. 5° Note sur les conditions dans lesquelles s'est effectué le dépôt de la craie dans le bassin anglo-parisien. 6° Transformation artificielle en gypse du calcaire friable des fossiles des sables de Bracheux. 7° Thermo-régulateur de construction très simplifiée pour les étuves à température constante.*

34014 — De M. L. Bidou (M. de la S.). *Le soufre, les gisements et son exploitation en Italie* (in-8° de 23 p.). Paris, Génie civil, 1894.

34015 — *Règles des cinq ordres d'architecture*, par J. Barozzio de Vignole (petit in-4° de 58 pl.). Paris, Mondhare.

34016 — Du Ministère des Travaux publics. *Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction. Première session. Tome I. Documents généraux* (in-4° de 367 p.). Paris, J. Rothschild, 1894.

34017 — De la Direction générale des Douanes. *Tableau général du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères pendant l'année 1893*. Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34018 — De l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail. *Bulletin n° 6, année 1894*. Paris, siège de l'Association, 1894.

34019 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Théorie des machines thermiques*, par A. Witz (petit in-8° de 186 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

Les Membres nouvellement admis pendant le mois d'août 1894 sont :

Comme Membres sociétaires, MM. :

Ch.-M.-E. Cavelier de Mocomble,	présenté par MM.	Carimantrand, Guyenet, Levi.
P. Dorémieux,	—	Carimantrand, Levi, Mallet.
P.-H. Ferrand,	—	Baignères, G. Dumont, Hubou.
F. Havequez,	—	E. Joubert, Mesureur, A. Thomas.
U. Lassia,	—	Charton, J. Fleury, Lafrance.
L.-R. Levy,	—	Brüll, Ed. Lippmann, de Nansouty.
A. de Marchena,	—	L. de Chasseloup-Laubat, Levi, E. de Marchena.
H.-Ch. Mongon,	—	F. Claparède, Jannettaz, E.-L. Martin.
Ch. Rosambert,	—	L. de Chasseloup-Laubat, Falconnet, A. de Dax.
J. de Sa e Silva,	—	Baclé, Bel, A. de Dax.
G.-P. Thomas,	—	L. Appert, J. Farcot, P. Farcot.

Comme Membres associés, MM. :

L.-A. Bohain,	présenté par MM.	Blétry, A. Collet, Quiniou.
M. Hachette,	—	Coiseau, Couvreux, Godillot.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AOUT 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 3 AOUT 1894

PRÉSIDENCE DE M. J. FLEURY, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie. Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT est heureux d'annoncer qu'à l'occasion de la Fête nationale du 14 juillet plusieurs de nos Collègues ont été l'objet de distinctions honorifiques.

M. Lazare Weiller a été nommé officier de la Légion d'honneur.

MM. J. J. Heilmann et S. Dunnett, chevaliers de la Légion d'honneur.

M. LE PRÉSIDENT est certain que ses Collègues penseront comme lui que ces récompenses sont des plus méritées.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance et qu'on trouvera reproduite à la suite du procès-verbal.

Les membres de la Société qui ont souscrit au catalogue de la Bibliothèque ont déjà reçu le premier volume; le second paraitra probablement dans le courant d'octobre. Le tout formera une publication considérable ne comptant pas moins de 1 300 pages qui aura coûté un long et patient labeur au personnel; grâce à ce catalogue, les recherches de la bibliothèque se feront avec la plus grande facilité.

Nous avons reçu de M. Dubreuil, Président du Comité du Génie Civil, Arts Mécaniques et Architecture de la Société Industrielle du Nord de la France, un avis nous informant que les expériences relatives à la recherche de la force absorbée par les transmissions commenceront à Lille le 7 août prochain.

M. LE PRÉSIDENT annonce que nous sommes invités à assister à ces intéressantes expériences, qui ont déjà fait l'objet de discussions à la Société Industrielle et dont nous nous sommes entretenus nous-mêmes.

Enfin nous avons reçu, de M. Bonna, une invitation à visiter à Clichy la conduite destinée au refoulement des eaux d'égout dans le canal d'Argenteuil en passant sous la Seine.

Les tuyaux en acier profilé de 1,80 *m* de diamètre sont terminés et le revêtement intérieur en ciment est maintenant commencé; les travaux dureront deux mois environ, ce qui permettra à un grand nombre d'entre nous d'aller les visiter.

M. Bonna nous prie de nous y rendre le vendredi matin de préférence; il sera là pour nous recevoir et les membres de la Société sont assurés d'y trouver le meilleur accueil.

M. le Président annonce que M. Cottancin a renoncé à faire sa communication sur *les différences caractéristiques de principe et de construction entre les travaux connus sous la marque « Travaux en ciment avec ossature métallique » et les travaux en ciment englobant des fils et des barres de fer.*

Elle sera remplacée par la communication de M. Max de Nansouty, sur le *Laboratoire central d'électricité de Paris.*

M. Max de Nansouty s'exprime en ces termes :

1° Historique de ce qui a été fait à l'étranger.

La première idée d'un Laboratoire d'électricité pour effectuer des étalonnements et faciliter des recherches est française, puisque, en 1881, lorsque le Comité de garantie a remis à M. Cochery les 300 000 *f* restant de l'Exposition d'Electricité, dans le but de créer ce laboratoire, aucune institution de ce genre n'existait à l'étranger. Par suite de retards très regrettables, on a perdu cette avance et tandis que le laboratoire français n'a commencé à fonctionner qu'en février 1888, un laboratoire de même nature, le « Electrische Versuchsanstalt » a été institué à Munich vers 1885 ou 1886. Ce laboratoire, beaucoup moins important que le nôtre, a continué à fonctionner régulièrement depuis cette époque.

Vers 1889 a été créé à Berlin le plus important et remarquable établissement appelé « Physikalisch Reechsanstalt ». Cet Institut a été fondé par le Gouvernement avec l'appoint de souscriptions particulières. Sa construction a coûté plusieurs millions et son entretien annuel est assuré par un budget d'environ 100 000 *f*. Il effectue, sous le contrôle direct de l'État, toutes les mesures possibles intéressant la physique et la mécanique. Il ne forme pas d'élèves. Il est sous la haute direction d'Helmholtz.

A Londres, le Board of Trade achève en ce moment l'installation d'un bureau de vérification des grandeurs électriques. Cet établissement, aménagé avec un luxe et un soin considérables, sera prochainement ouvert aux industriels qui y feront étalonner des résistances et des appareils de mesure d'intensité et de force électromotrice. Son directeur est le major Carden.

Tels sont les laboratoires d'étalonnement électrique existant actuellement. On peut citer encore, comme possédant de très belles installations de mesure électrique, des établissements d'enseignement, par exemple l'Institut électrotechnique de Liège. Cet Institut n'entreprend pas des

mesures pour les particuliers, mais de nombreux élèves sont exercés dans ses laboratoires. Il en est de même de l'Ecole Polytechnique de Zurich dont la section d'électricité utilise un des laboratoires les plus riches qui existent au monde.

2° Historique du Laboratoire central de Paris.

C'est par un décret du 24 février 1882 que les bénéfices réalisés par l'Exposition de 1881 ont été affectés à la création d'un laboratoire d'électricité à Paris, sous la haute direction du Ministère des Télégraphes. Cette somme de 331 000 *f* resta inutilisée pendant plusieurs années. En 1885 la Société internationale des électriciens proposa au Ministre des Télégraphes de se charger de la mise en état du laboratoire. Par décret du 12 juillet 1886, le Ministre ouvrit à la Société un crédit de 30 000 *f* pour réaliser une installation provisoire et par décret du 30 septembre 1886, la rente des 300 000 *f* restants fut provisoirement affectée à l'entretien de ce laboratoire.

La Société entreprit immédiatement la création d'un laboratoire provisoire. MM. Ménier mirent presque gratuitement un terrain à sa disposition, les principaux constructeurs d'appareils lui firent don de machines et d'instruments, et le laboratoire commença à fonctionner régulièrement en février 1888.

Pendant cinq ans le laboratoire resta installé, place Saint-Charles, dans les locaux de MM. Ménier. Malgré les conditions déplorables dans lesquelles il se trouvait, il effectua de nombreux essais et forma un grand nombre d'élèves. Au commencement de 1892, la Société des électriciens obtint, de la Direction générale des postes et télégraphes, la libre disposition des arrérages de la rente provenant de la capitalisation des 300 000 *f* de l'Exposition de 1881, et la facilité d'aliéner une partie de cette rente et de consacrer le capital à une installation définitive (décret et convention du 15 mars 1892). Le 13 avril 1892, le Conseil municipal de Paris affecta au laboratoire un terrain de 1 500 *m* situé rue de Staël. A la même époque une souscription ouverte par la Société réunit, grâce au dévouement de M. Mascart, une somme de 100 000 *f*.

Les travaux de construction du nouveau bâtiment de la rue de Staël furent commencés en septembre 1892 et le laboratoire, complètement aménagé, fut inauguré en juin 1893.

Depuis cette date, grâce aux nouvelles démarches de M. Mascart, une somme de 100 000 *f* a été allouée au laboratoire sur les fonds provenant du legs Giffard. Cette somme servira à payer de nouvelles constructions rendues indispensables et actuellement en cours d'exécution. Ces constructions seront achevées et prêtes à mettre en service en octobre prochain.

3° Services rendus par le laboratoire.

Depuis sa fondation le laboratoire a effectué plus de 1 300 essais ayant donné lieu à l'établissement de certificats. Quatre-vingt-quinze élèves français ou étrangers y ont reçu une instruction pratique; des savants et des Ingénieurs ont été autorisés à profiter de ses ressources pour entreprendre des recherches personnelles ou répéter des expériences

importantes. On peut rappeler qu'en 1889 les belles expériences de Hertz ont été reproduites au laboratoire devant un très grand nombre de personnes.

4° Desiderata.

Le laboratoire a de justes aspirations. On voudrait, tout d'abord, en faire un bureau d'étalonnements et de mesures aussi complet et aussi parfait que possible. On peut actuellement y effectuer déjà avec rapidité et sécurité presque toutes les mesures qui intéressent l'industrie électrique. Dans quelques mois, lorsque les appareils de mesures de courants alternatifs seront installés, on verra s'ouvrir un champ d'action plus considérable, mais il manque encore beaucoup d'appareils et surtout des appareils très coûteux. On peut évaluer à une cinquantaine de mille francs la somme qui serait indispensable pour combler toutes les lacunes des salles de mesures.

La Direction du laboratoire, personnifiée par le savant et sympâthique M. de Nerville, a une ambition plus grande encore, celle d'annexer au laboratoire une véritable école d'application électrique. Actuellement il n'existe pas en France un seul établissement où un jeune homme puisse acquérir une instruction électrique de l'ordre de celle qui s'acquiert à Liège ou à Zurich. Il est probable que l'on va entrer résolument dans cette voie à la rentrée prochaine. Des cours et des conférences seront faits au laboratoire, on les complétera par des exercices de laboratoire et d'atelier.

En terminant, M. de Nansouty fait remarquer qu'il a simplement voulu attirer l'attention de la Société des Ingénieurs Civils de France sur une institution qui fait le plus grand honneur à ses fondateurs; M. de Nerville, son Directeur, a ouvert largement les portes de son laboratoire, non seulement à tous les électriciens, mais à tous les ingénieurs et industriels qui ont à faire des recherches.

Les tarifs sont des plus modestes, et l'on trouve dans le laboratoire l'hospitalité la plus large ainsi que tous les moyens d'étudier. Un des avantages, qui n'est pas le moindre, est encore de s'y rencontrer avec des électriciens distingués, en tête desquels il convient de citer le Directeur, M. de Nerville; nos Collègues y sont toujours certains d'être accueillis avec la plus grande courtoisie.

M. le Président, après avoir remercié M. de Nansouty de son intéressante communication qui profitera certainement à un grand nombre de nos Collègues, a le plaisir d'annoncer aux membres présents qu'un de nos confrères américains nous fait l'honneur d'assister à la séance.

C'est M. Richmond, dont ceux d'entre nous qui ont fait le voyage des États-Unis ont gardé un si bon souvenir.

M. le Président saisit avec empressement cette occasion pour lui exprimer de vive voix notre gratitude de l'accueil qu'il nous a fait ainsi que ses Collègues en Amérique, et, en lui souhaitant la bienvenue parmi nous, l'invite à s'asseoir à son côté.

M. G. Collin a la parole pour sa communication sur le *concours des voitures automobiles*. En attendant une reproduction plus complète dans le *Bulletin*, nous en donnons ici le résumé :

Le concours organisé par le *Petit Journal* avait pour but de récompenser la voiture sans chevaux qui remplirait les conditions d'être, sans danger, aisément maniable pour les voyageurs et de ne pas coûter trop cher sur la route : le jugement devait porter donc sur la *sécurité*, la *commodité* et le *bon marché*.

Le concours comprenait deux épreuves : une épreuve éliminatoire de 50 *km* autour de Paris; une épreuve définitive Paris-Rouen, 126 *km*.

Vingt-cinq véhicules à pétrole et à vapeur se sont présentés aux épreuves; quatorze véhicules à pétrole et trois à vapeur ont subi avec succès l'épreuve définitive.

Le premier prix a été partagé entre la maison Panhard et Levassor et la maison Les fils de Peugeot frères, pour leurs véhicules à pétrole.

Le second prix a été décerné à MM. de Dion et Bouton pour leur véhicule à vapeur.

La voiture Panhard et Levassor peut contenir de deux à quatre voyageurs; elle est mue par un moteur à pétrole Daimler dont le mouvement est transmis à l'essieu d'arrière par un embrayage progressif à friction, des engrenages donnant trois ou quatre vitesses, des engrenages d'angle donnant la marche en avant ou en arrière, enfin une chaine de Galle.

Les appareils de commande sont bien disposés à la main et aux pieds du conducteur; la conduite du véhicule en est, par suite, très facile.

Le moteur a une puissance de 250 à 280 *kgm*. La dépense kilométrique moyenne est de 0,05 *f*.

La voiture Peugeot est mue par le moteur Daimler, avec embrayage système Panhard et Levassor.

Le véhicule dérive du cycle dont il a les roues et le roulement à billes.

La voiture à vapeur de Dion et Bouton est une voiture ordinaire remorquée par une locomotive routière à quatre roues d'une force d'environ 20 *ch*. La chaudière placée à l'avant est du type de Dion, Bouton et Trépardoux. La machine compound à deux cylindres est placée à l'arrière. Le mouvement est transmis, extérieurement aux moyeux, directement aux jantes des roues d'arrière par un arbre articulé traversant les fusées creuses de l'essieu qui est fixe.

Les voitures du groupe de tête, menées par la voiture à vapeur de MM. de Dion et Bouton ont présenté des vitesses commerciales supérieures à 17 *km* et des vitesses moyennes de marche supérieures à 20 *km*.

Les vitesses réelles ont été pour les voitures à pétrole :

De 5 à 7 *km* sur les côtes de $\frac{1}{10}$;
12 à 16 *km* — d'inclinaison moindre;
20 à 26 *km* en palier.

Pour la voiture à vapeur de Dion et Bouton :

De 10 à 20 *km* sur les côtes de $\frac{1}{10}$.
30 *km* en palier.

Si l'on se place au point de vue du concours, la voiture à pétrole présente une incontestable supériorité sur la voiture à vapeur.

Si l'on se place au point de vue beaucoup plus général de la locomo-

tion mécanique sur routes, il faut recourir au pétrole ou à la vapeur suivant les conditions particulières auxquelles on a à satisfaire.

Le concours du *Petit Journal* a mis en évidence le travail persévérant de nos constructeurs, et hâtera probablement l'apparition de la solution définitive du problème de la locomotion mécanique sur routes.

M. le Président remercie M. Collin de sa communication sur ce sujet nouveau. Il croit devoir louer la méthode et la clarté de ce travail, dont la lecture a été entendue avec un très vif intérêt par la Société.

M. Ch. Casalonga a la parole pour sa communication sur la *nouvelle loi des brevets d'invention en Danemark.*

Cette loi a avec la loi allemande de nombreux points communs.

Dès le premier article l'esprit de la loi se révèle. En effet, cet article expose qu'il ne sera pas accordé de brevets pour des inventions de trop peu d'importance, et c'est la Commission des brevets qui est seule juge de cette importance.

Les remèdes, les produits alimentaires, les boissons et les procédés ayant pour objet la préparation des denrées alimentaires ne pourront être brevetés, ce qui est destiné à porter un coup funeste à une des industries les plus florissantes du Danemark, la fabrication du beurre.

Les produits chimiques et leurs procédés de fabrication ne se trouvent pas parmi les inventions à exclure, bien qu'ils confinent souvent aux produits pharmaceutiques et même à certaines denrées alimentaires.

Il y a dans la loi danoise trois idées principales relativement au droit au brevet : 1° le droit au brevet appartient exclusivement à l'inventeur ou à son cessionnaire légal. Les créanciers peuvent saisir les droits que confère un brevet délivré ; 2° si plusieurs personnes demandent simultanément une patente pour le même objet, elle est accordée à celui qui aura déposé sa demande la première ; 3° aucun fonctionnaire de l'État ne peut, durant son service et les trois années qui suivront sa retraite, obtenir, sans le consentement du ministre dont il dépend, un brevet pour une invention à la réalisation complète ou partielle de laquelle il est censé être arrivé par son travail au compte de l'Etat.

La taxe est progressive par périodes de trois années. Elle est de 25 couronnes pour la première période ; 50 pour la deuxième ; 100 pour la troisième ; 200 pour la quatrième et 300 pour la cinquième, la durée totale étant de quinze ans. Un sursis de trois mois avec amende de 1/5 de la taxe due est accordé. Les annuités peuvent être payées par anticipation et sont remboursées si le brevet vient à être abandonné.

Les demandes sont examinées par une Commission dont les décisions sont susceptibles d'appels sans taxe, sauf un appel devant le ministre de l'Intérieur, moyennant une taxe de 100 couronnes qui sera remboursée si le demandeur a gain de cause.

L'exploitation du brevet doit avoir lieu dans un délai de trois ans et ne pas être suspendue pendant plus d'un an ; pourtant, la Commission peut prolonger les délais s'il est prouvé que l'exploitation a été empêchée par des circonstances indépendantes de la volonté de l'inventeur, et même dispenser complètement l'inventeur de toute obligation, s'il appert que les frais de cette fabrication sont hors de proportions raisonnables

avec la consommation du pays, à condition toutefois que l'inventeur ait soin de tenir ledit objet en vente à la disposition du public.

M. le Président remercie M. Ch. Casalonga de son intéressante étude; il a analysé la loi des brevets du Danemark avec une sûreté de critiques qui montre qu'il a été à bonne école.

Il est donné lecture de la demande d'admission de M. J.-F.-F. Chameroy comme membre sociétaire.

MM. Ch. Cavelier de Mocomble, P. Dorémieux, P.-H. Ferrand, F. Havequez, U. Lassia, L.-R. Lévy, A. de Marchena, H.-Ch. Mongon, Ch. Rosambert, J. de Sa e Silva, G.-P. Thomas, sont reçus comme membres sociétaires.

MM. L.-A. Bohain et M. Hachette sont reçus comme membres associés.

La séance est levée à 10 heures.

APPLICATION
DE LA
PHOTOGRAPHIE A LA TOPOGRAPHIE
NOUVELLES SOLUTIONS D'ALTIMÉTRIE
AU MOYEN DES
RÈGLES HYPSOMÉTRIQUES

PAR
M. Ed. MONET

AVANT-PROPOS

La *photogrammétrie* est la science qui a pour but d'obtenir, pour les photographies, des *perspectives exactes*, soumises à des lois géométriques connues qui permettent de mesurer les dimensions des objets qui y figurent.

Quoique la photogrammétrie soit une science récente, il est déjà difficile d'en faire l'historique, ou du moins de trouver plusieurs auteurs d'accord sur ce sujet.

De temps à autre, apparaissent des noms nouveaux, Ingénieurs ou officiers de différents pays, auxquels chaque nation attribue l'invention des méthodes photogrammétriques; et quelque singulier que cela paraisse, plusieurs d'entre eux sont d'une époque antérieure à la découverte de la photographie sur laquelle repose la photogrammétrie.

Prenons rationnellement les choses, et, sans remonter à l'invention des méthodes des intersections ou des recoupements, que la photogrammétrie utilise, prenons cette science au moment où elle a pu naître, c'est-à-dire après l'invention de la photographie dont personne ne conteste la priorité à Niepce et Daguerre.

Cette priorité, pour la photogrammétrie, est tout aussi légitimement acquise au *colonel* Laussedat, directeur du Conservatoire des arts et métiers, qui la créa de toute pièce en 1850, la développa dans le *Mémorial de l'officier du génie* (n° 16, 1854, et n° 17, 1864) et fit avec cette méthode des relevés topographiques.

Ses travaux et ses écrits sont antérieurs à tout ce qui a été fait dans les autres pays, et, si l'on considère que ce savant avait déjà donné des méthodes de relevé topographique utilisant la *chambre*

claire de Wollaston, on comprend que, dès son apparition, il les ait appliquées à la *chambre noire* qui fixe les images que la chambre claire ne donnait que sous forme fugitive; avec Wollaston, l'outil était la chambre claire, avec Niepce, c'est la chambre photographique.

Mais, cet outil merveilleux fut délaissé en France, ou du moins inconnu : on ne fit pas assez pour le vulgariser.

La conséquence de ce désintéressement fut que l'on attribua longtemps l'invention de cette science aux savants allemands qui l'avaient étudiée, perfectionnée et lui avaient donné son nom. Il fallut même une longue polémique, quelquefois acerbe, pour faire connaître la réalité des faits. Cette polémique dure encore, toujours au détriment de la vulgarisation, et nous nous en tiendrons éloigné.

Pour nous, désireux d'aider à propager cette science, à la faire connaître à ceux qui peuvent l'utiliser *par métier* et en tirer profit, aux Ingénieurs s'occupant de travaux publics, d'études topographiques, d'explorations, nous nous sommes attaché à donner à ce mémoire une forme didactique qui permette, nous l'espérons du moins, à toute personne, de comprendre la méthode, de l'appliquer, et, au besoin, d'en modifier la partie opératoire suivant l'expérience qu'elle aura des procédés topographiques.

Profitant de la tribune de la Société des Ingénieurs civils, dont l'influence pénètre dans tous les milieux scientifiques et pratiques, nous avons aussi développé les méthodes qui nous sont personnelles et, en particulier, nos *Règles hypsométriques* qui apportent au problème d'altimétrie une solution mécanique qui conduit au résultat avec la même approximation que le calcul direct.

Les noms français qui marquent le plus dans les annales de la photogrammétrie sont, après le colonel Laussedat, MM. le commandant Javary, le commandant Moessard, le Dr Le Bon. Il faut citer à part, M. le commandant Legros, dont l'ouvrage « *Sommaire de photogrammétrie* » est écrit dans un esprit de vulgarisation qu'il convient de signaler.

C'est à l'étranger que la nouvelle science trouva sa consécration. Dès l'origine, elle fut appliquée par les Allemands qui la traitèrent, à la fois, comme science spéculative et comme science pratique; témoin leur Institut spécial de photogrammétrie que dirige, à Berlin, le Dr Meydenbauer connu par ses travaux et par la polémique qui s'engagea autour de son nom, au sujet de la priorité de l'invention, et à laquelle prirent part les Drs Stolze, Vogel, Koppe.

En 1875, l'Ingénieur italien Pio-Paganini commença le relevé photogrammétrique d'une région considérable des Alpes; l'importance de ses travaux ne le cède qu'à ceux du major américain Deville qui, dans l'espace de cinq années, releva et fit la carte de 6 000 km^2 dans les montagnes Rocheuses et qui poursuit encore actuellement l'achèvement de ce travail.

En Autriche, les premiers essais datent de 1887. Mais cette nation se mit rapidement au niveau des précédentes, tant à cause des travaux de MM. Haffert, Maurer, Steiner, Pollack, que de ses constructeurs qui créèrent, et mirent dans le commerce une série d'instruments de grand et petit format; ce qui fait qu'il est aussi facile de se procurer à Vienne un *photogrammètre*, qu'à Paris un appareil photographique ordinaire.

En France, nous n'avons rien de comparable à ces travaux, du moins pour l'importance. Mais, la lacune sera bientôt comblée, car un de nos collègues, M. H. Vallot, nous apprend, dans les *Annales de l'Observatoire météorologique du Mont-Blanc* (1), qu'il exécute, en collaboration avec M. J. Vallot, une nouvelle carte au $\frac{1}{20\,000}$ du massif du Mont-Blanc; une zone considérable de ce massif, et notamment toutes les parties inaccessibles, seront relevées à l'aide de la photogrammétrie, au moyen d'un nouvel appareil, le *phototachéomètre*, basé sur le même principe général que le *photothéodolite* Laussedat.

Ce mémoire est divisé en deux parties :

La *première partie*, consacrée au développement des méthodes et des instruments photogrammétriques;

La *deuxième partie*, à l'exposé des nouvelles méthodes et des instruments que nous proposons relativement à l'altimétrie.

(1) Observatoire fondé en 1890 par M. J. Vallot et qui, par conséquent, est antérieur à celui de M. Janssen, situé non loin du premier.

Nous renvoyons à ce sujet à la chronique du *Bulletin de la Société* (décembre 1893, page 594), de notre très distingué collègue M. A. Mallet.

PREMIÈRE PARTIE

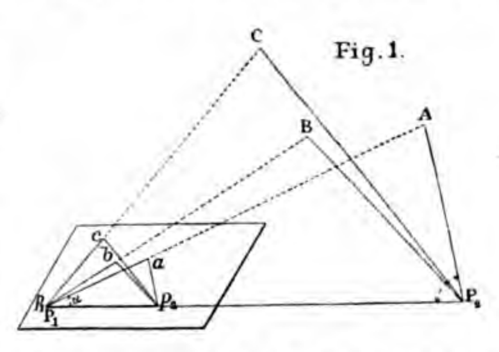
CHAPITRE Ier

Définitions.

Principe de la méthode du colonel Laussedat

La méthode photogrammétrique, appliquée à la topographie, n'est autre chose que la méthode des intersections dont le lever dit *à la planchette* est le type.

Pour ce lever, l'opérateur, après avoir fixé une base, qu'il rapporte à une échelle déterminée, se place à l'un des sommets P_1 (*fig. 1*), vise successivement les points A, B, C... du terrain et trace leur direction, puis se porte au sommet suivant, P_2, et vise à nouveau les mêmes points A, B, C... en traçant les nouvelles directions P_2A, P_2B... Les points d'intersection *a*, *b*, *c*... sont les points cherchés sur le plan, qui se trouve rapporté à l'échelle que l'on a choisie pour la ligne $p_1 p_2$ qui représente $P_1 P_2$.



Le colonel Laussedat a pensé que l'on pouvait, au moyen de photographies, convenablement prises et orientées, trouver les directions, c'est-à-dire, les angles sous lesquels A, B, C... sont vus, d'abord de P_1, puis de P_2.

Il faudra donc, pour appliquer la méthode des intersections, *deux photographies*, l'une donnant le terrain vu de P_1, la seconde ce *même terrain* vu de P_2.

Mais, comme nous allons le voir, les photographies donnent non seulement l'angle horizontal sous lequel un point est vu d'un sommet P_1, mais encore l'angle vertical β sous lequel il est vu de ce même sommet, ce qui permet non seulement d'établir le plan (planimétrie), mais encore de déterminer la hauteur de chaque point au-dessus du plan d'horizon, c'est-à-dire, d'inscrire sa cote (altimétrie).

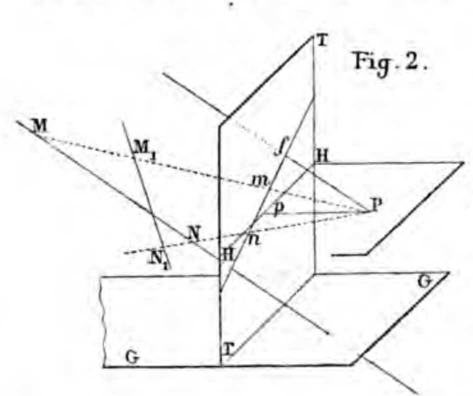
Pour résoudre ce double problème, il est nécessaire que les

photographies soient des perspectives exactes dont les éléments soient connus.

Dans une brochure que nous avons fait paraître sur les *principes de la photogrammétrie* (1), nous avons rappelé les définitions et les propriétés fondamentales de la perspective géométrique ; nous n'y reviendrons ici que pour les résumer très brièvement.

Définitions (fig. 2).

Le plan vertical TT est le *plan du tableau ;*
P, un point *fixe* pris pour *point de vue ;*



M, un point de l'espace, *m* sa *perspective ;*

mn est la perspective de la droite MN.

Si on mène Pf parallèle à MN, f est le *point de fuite* de la droite.

Le plan PHH est le *plan d'horizon ;*

p, le point principal ;

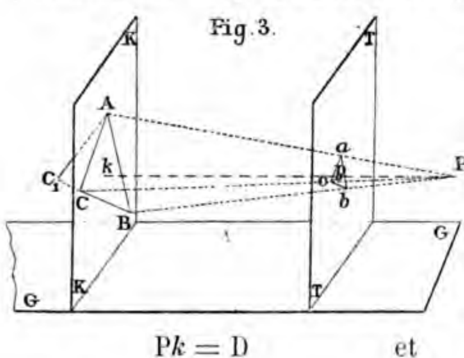
HH, la *ligne d'horizon ;*

$Pp = d$, la *distance principale.*

Formule fondamentale de la photogrammétrie.

Échelle d'un plan de front

Considérons un plan de front KK *(fig. 3)* et une figure dans ce plan. Soit un triangle ABC dont la perpective est *abc.*



Menons le rayon principal Ppk perpendiculaire aux deux plans ; on a évidemment :

$$\frac{ab}{AB} = \frac{bc}{BC} = \frac{ca}{CA} = \frac{Pp}{Pk} = \frac{d}{D}$$

en posant la profondeur

$Pk = D$ et $Pp = d$,

(1) Société d'Éditions scientifiques. Paris, 1893.

et cela *quelle que soit la position de la figure* ABC dans le plan de front KK défini par D; donc :

Toutes les lignes d'une figure située dans un plan de front de profondeur D ont pour perspectives des lignes parallèles, semblablement placées et réduites dans un rapport constant $\frac{d}{D}$.

Si H est la longueur d'une *ligne de front*, *h* celle de sa perspective, on aura :

$$\frac{h}{H} = \frac{d}{D},$$

d'où les quatre combinaisons :

$$h = H \cdot \left(\frac{d}{D}\right)$$

$$D = d \cdot \left(\frac{H}{h}\right)$$

$$H = h \cdot \left(\frac{D}{d}\right)$$

$$d = D \cdot \left(\frac{h}{H}\right)$$

C'est la formule fondamentale de la *photogrammétrie* où son application est constante (Détermination de la hauteur H d'un objet; de la distance principale ou longueur focale *d*; de la distance D à laquelle il faut se placer pour qu'un objet H ait, en perspective, une longueur *h*).

Échelle de réduction d'un plan de front. — Le rapport constant $\frac{d}{D}$ s'appelle l'échelle de réduction du plan de front défini par D.

Remarque. — La profondeur D *d'une figure de front* ABC *(fig. 3) avec sa perspective* abc *définissent cette figure.*

Dans ce cas on n'a plus besoin que d'une photographie, au lieu de deux, comme il a été dit. Cette remarque très importante sera utilisée dans une autre partie du mémoire pour la méthode dite : *des profils de front.*

Quand une ligne H *se déplace dans un plan de front, sa perspective* h *se déplace en conservant la même longueur, puisque l'on a toujours :*

$$h = H \cdot \frac{d}{D}.$$

Enfin remarquons que si AC tourne autour de A de façon à ne plus être dans le plan de front, tout en conservant sa longueur

primitive $AC_1 = AC$, la *perspective de* AC_1 *sera plus petite que la perspective* ac *de* AC.

Réciproquement. — La plus grande perspective d'une droite AC_1, *de longueur constante, tournant autour du point A, se produira quand la droite sera contenue dans le plan de front de A.*

On peut utiliser cette remarque pour placer la glace dépolie d'une chambre photographique parallèlement à la façade d'un édifice en cherchant la position pour laquelle la perspective d'une ligne de cette façade devient maximum et s'arrêtant à cette position.

CHAPITRE II

Photogrammétrie.

Une photographie, convenablement exécutée, est une perspective géométrique dont le *plan du tableau* a été, successivement, la plaque de verre dépoli, la plaque sensible, et, finalement, le papier sensible sur lequel s'imprime cette dernière, et dont la *distance principale* est la *longueur focale* de l'objectif.

Nous supposerons, dans ce qui va suivre, que sur chaque photographie et, par des moyens que nous indiquerons plus loin, se trouvent tracés :

1° La *ligne d'horizon* HH ;

2° Le *point principal* p ;

et que :

3° On connaisse la *longueur focale* d de l'appareil qui a servi à photographier.

Éléments que donne une photographie

Soient *(fig. 4)* T le *plan du tableau*, P le *point de vue*, RS le *plan d'horizon*, HH la *ligne d'horizon*, p le point principal.

Soient M un point de l'espace, m sa perspective, MM' la perpendiculaire abaissée sur le plan d'horizon, mm' sa perspective.

$Pp = d$, la distance principale ou longueur focale de l'appareil, l'angle $\beta = \widehat{mPm'}$, est l'angle vertical sous lequel est vu le point M, de même l'angle $\alpha = \widehat{pPm'}$, compté à partir de Pp, est l'angle horizontal sous lequel est vu le même point.

Si l'on suppose le plan d'horizon rabattu sur le plan du tableau,

on aura la figure 5, dans laquelle *abce* est le papier photographique lui-même;

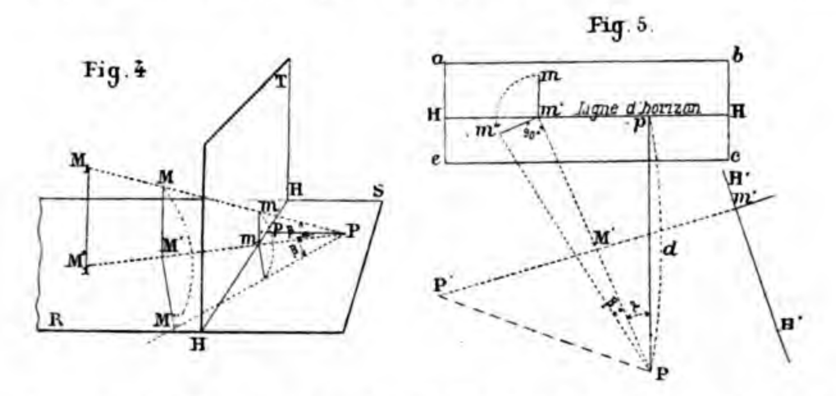
HH, la ligne d'horizon;

p, le point principal;

P*p* = *d*, la distance principale;

P, le point de vue.

(P*p* est mesuré sur l'épure *(fig. 5)*, en vraie grandeur, c'est-à-



dire, que si la longueur focale est de 0,20 *m*, P*p* = 0,20 *m*, sans réduction.)

mm' la perspective de MM',

$\widehat{pPm'}$ l'angle horizontal α.

Si on rabat le triangle rectangle P*mm'* *(fig. 4* et *5)* en P*m'm*, l'angle $\beta = m'Pm''$ sera l'angle vertical.

Le premier angle α donne la *direction* du point M, le second β, sa *hauteur au-dessus du plan d'horizon*.

Si on pose : $MM' = H,$

$mm' = h,$

on a : $$\frac{H}{h} = \frac{PM'}{Pm'}$$

ou : (1) $$H = h\frac{PM'}{Pm'}$$ (formule fondamentale).

Tels sont les éléments que donne une seule photographie et qui ne sont pas suffisants pour déterminer un point M, car la relation (1) contient deux inconnues H et PM'.

Cette indétermination se reconnaît à l'inspection de la figure 4;

car tout point M_1 du rayon PM, donnera les mêmes éléments perspectifs que le point M.

Méthode des intersections. — Mais, une autre perspective HH′ *(fig. 5)*, prise d'un autre point de vue P′, et sur laquelle *figurera aussi* M lèvera l'indétermination en donnant une seconde direction P′m′, analogue à Pm′ sur laquelle se trouve aussi M′. L'intersection de ces deux droites donnera donc la position M′, du point, en plan (planimétrie).

Dès lors, on pourra mesurer PM′ sur le plan et la hauteur H sera :

$$H = h \cdot \frac{PM'}{Pm} \qquad \text{(altimétrie).}$$

Nous allons maintenant indiquer, avec quelques détails, la suite des opérations à faire, tant sur le terrain qu'au bureau, pour exécuter un plan topographique, en étudiant particulièrement le cas où le levé est fait en vue de l'étude d'un tracé, c'est-à-dire le relevé d'une bande, relativement peu large, rapportée à grande échelle $\left(\frac{1}{1\,000}, \frac{1}{2\,000} \text{ ou } \frac{1}{5\,000}\right)$ avec un degré de précision égal à celui obtenu par les méthodes courantes (tachéométrie).

Nous passerons successivement en revue :

La marche sur le terrain ou *cheminements*, ainsi que la méthode des *profils de front*.

L'*Orientation* des photographies sur le plan.

La *Méthode des intersections* (planimétrie et altimétrie).

Et nous terminerons cette première partie, par l'examen rapide des *instruments* — *(photogrammètres* et *appareils adoptés)* — avec les réglages auxquels il faut les soumettre pour obtenir des perspectives exactes.

Opérations sur le terrain. — Cheminements.

1° Cas ou la base se trouve en dehors de la bande relevée

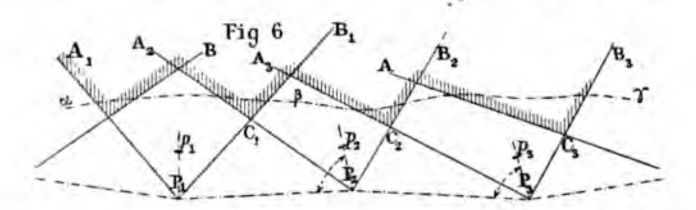
Soit à relever une bande de terrain limitée par αβγ *(fig. 6)*.

On installera convenablement l'appareil au point P_1 et l'on photographiera un premier secteur $A_1P_1B_1$.

Puis, on se transportera en un point P_2 *d'où l'on puisse voir* la plus grande partie possible de la première région $A_1P_1B_1$. Soit $A_2P_2B_2$ cette seconde photographie.

La partie commune $A_2C_1B_1$ aux deux secteurs sera seule utilisable pour le groupe de photographies 1 et 2.

On transportera l'appareil en un point convenable P_3 et l'on photographiera un troisième secteur $A_3P_3B_3$, ce qui permettra de



rapporter, par intersections, les points de la partie commune $A_3C_2B_2$ aux photographies 2 et 3, et ainsi de suite.

On peut, du reste, d'un point quelconque P_1, prendre plusieurs photographies qui élargissent le secteur et faire ainsi, au besoin, un tour complet d'horizon.

Base. — L'ensemble des points P_1, P_2, P_3, où l'on s'est mis en station constitue la *base*.

On relève cette base soit directement sur les photographies comme on le ferait pour des points quelconques, soit, et mieux, avec les organes géodésiques que comportent les photogrammètres, comme nous le verrons plus loin.

Ce procédé de cheminement trouve son application dans le cas où la zone à relever est inaccessible (précipice, ouvrage défendu par l'ennemi...).

On voit de suite combien est judicieux le choix de la base, celui de l'orientation et du nombre de photographies à prendre de chaque station. Ce choix dépend, en majeure partie, de *l'angle de champ* de l'objectif (45° à 100°), de sa *longueur focale*.

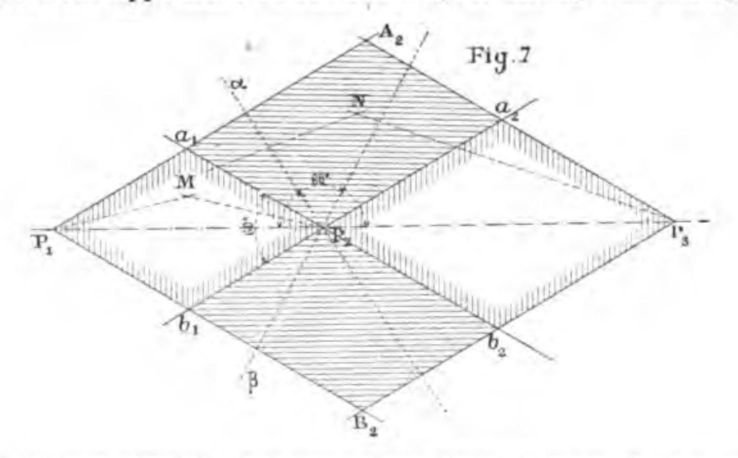
2° Cas ou la base est dans l'intérieur de la bande relevée

Un autre mode de cheminement est indiqué *(fig. 7)*. La base P_1, P_2, P_3, occupe la partie médiane de la zone relevée en supposant que des stations P_1, P_2, P_3, on prenne *une* ou *plusieurs* vues *avant*, *une* ou *plusieurs* vues *arrière*.

Dans le cas de la figure 7 on remarque que les points M des zones, telle que $P_1a_1P_2b_1$, sont dans de meilleures conditions, au point de vue du rapport, que les points N des zones telles que $a_1A_2a_2P_2$. Les premiers sont dits favorisés par opposition aux autres.

Remarque. — Plus on élargira les secteurs $\alpha P_2 \beta$, plus on donnera d'importance à la zone favorisée.

Avec les appareils très courants, ayant un angle de champ de



60°, le tour complet d'horizon exigera trois photographies *avant* et trois *arrière;* en général, deux avant et deux arrière suffiront.

Emploi d'une seule photographie.

1° Cas d'une figure dans un plan vertical

Si on a à relever une figure située dans un plan vertical, le problème se simplifie beaucoup et ne nécessite plus qu'une seule photographie, si on a eu soin d'installer l'appareil de façon que la *glace soit parallèle au plan vertical qui devient ainsi un plan de front* (voir page 221).

Deux cas sont alors à considérer:

a) On connait la distance à laquelle on est du plan vertical, c'est-à-dire sa profondeur D, par suite son échelle de réduction $\left(\frac{d}{D}\right)$.

On mesurera directement toutes les lignes h de la photographie et l'on en déduira $H = h \cdot \frac{D}{d}$.

b) Si on ne connait pas la profondeur D, on placera dans le plan vertical de la figure une mire de grandeur connue H qui, sur la photographie, donnera une perspective h et l'échelle de réduction sera $\left(\frac{h}{H}\right)$.

Ce cas se présente quand on a à relever la façade d'un monument ou un profil piqueté sur le terrain naturel ou provenant d'une excavation.

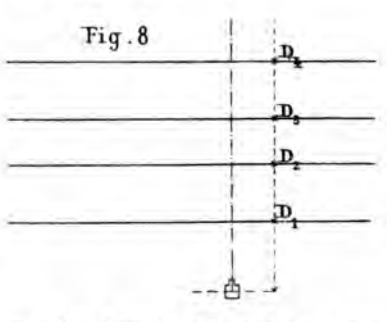
2° Cas de figures situées dans des plans verticaux et parallèles

On aura soin de placer la glace parallèlement à la direction commune des plans verticaux.

a) Cas d'une série de profils en travers parallèles. On connaît généralement, dans ce cas, les intervalles qui séparent les profils; par suite, leur profondeur D_1, D_2...

L'échelle de réduction pour chacun d'eux sera:

$\left(\frac{d}{D_1}\right), \left(\frac{d}{D_2}\right) \ldots \left(\frac{d}{D_n}\right)$ *(fig. 8).*



C'est le cas qui se présente pour les sections droites d'une tranchée.

b) Si on ne connaît pas les profondeurs des plans verticaux et parallèles on placera, dans *chacun d'eux,* une mire verticale H qui donnera les images h_1, h_2, h_3, h_n, et, par suite, les échelles de réduction seront:

$$\left(\frac{h_1}{H}\right), \left(\frac{h_2}{H}\right) \ldots \left(\frac{h^n}{H}\right).$$

Ce cas se présente dans les monuments offrant des retraits appréciables en façade et surtout dans l'intérieur de ces monuments.

Méthode des profils de front.

3° Méthode générale pour les relevés topographiques au moyen d'une seule photographie

Vu l'état actuel de la technique photographique et des expérimentations en cours, nous ne pouvons indiquer en ce moment — pour prendre rang — que le principe de cette méthode à laquelle nous avons donné le nom de : *Méthode des profils de front.* Nous sommes convaincu de la réussite, mais comme nous tenons à ne donner dans ce mémoire que des résultats consacrés par l'expé-

rience, nous attendrons que de nouveaux faits viennent confirmer nos prévisions.

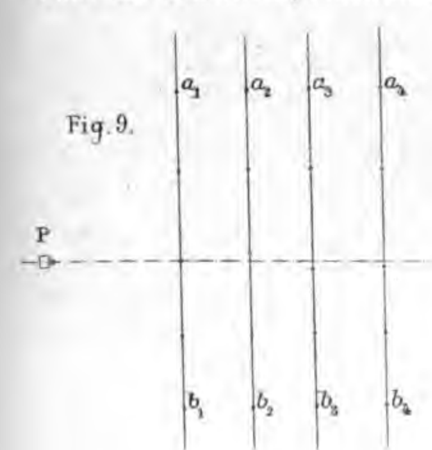
Ce procédé exige une brigade composée d'une façon analogue à celle employée au tachéomètre pour le cas, où nous nous plaçons, d'une bande de terrain d'une largeur de 500 *m* à 600 *m* à relever en vue de l'étude d'une route, d'un canal, d'un chemin de fer, et dont le rapport doit se faire aux échelles usuelles $\left(\frac{1}{1\,000}\right)$, $\left(\frac{1}{2\,000}\right)$ ou $\left(\frac{1}{5\,000}\right)$.

Pour bien nous faire comprendre, nous comparerons les hommes ou manœuvres à des jalons mobiles qui, arrêtés, dessineront, sur le terrain, des profils comme le feraient des piquets, avec cet avantage qu'ils seront bien plus apparents.

Il est nécessaire que l'un d'entre eux porte une mire; si les autres en sont pourvus on aura des vérifications.

Ces hommes seront placés en ligne 1° en a_1b_1 tel que a_1b_1 *soit un plan de front*. Un aide opérateur placé sur la ligne et connaissant l'orientation de l'instrument photographique donnera, au moyen d'une boussole, la direction, et veillera à l'alignement comme cela se fait avec la brigade tachéométrique.

Dans ces conditions, l'instrument étant placé en P *(fig. 9)*, on photographiera, et, grâce à la mire que porte l'un des manœuvres, on sera pour ce profil dans le *premier cas* (page 226).



La ligne des *jalons mobiles* viendra alors se placer en a_2b_2 que lui assignera l'aide opérateur et qu'il alignera convenablement au moyen de la boussole... et ainsi de suite pour une 3e, 4e position.

Si, pour chacune des lignes ou profils a_1b_1, a_2b_2... on voulait user une photographie, on serait toujours dans le *premier cas;* mais, par économie, nous avons pensé à prendre *sur une seule plaque* les images successives a_1b_1, a_2b_2... en utilisant cette propriété connue :

Que, du fait d'une admission instantanée de la lumière, les plaques conservent encore assez de sensibilité pour être impressionnées par une seconde, troisième... admission — ces seconde, troisième... admis-

sions servant à prendre les images a_2b_2, a_3b_3... sur la même plaque.

Un savant membre de l'Académie des Sciences, qui sait joindre à d'excellents conseils la plus encourageante bienveillance, M. Marey, universellement connu pour ses études du mouvement au moyen de la photographie et auquel nous soumettions nos idées, nous a encouragé dans cette voie et nous a dit que, selon lui, certains dispositifs — légers objets brillants que porteraient les manœuvres — en accusant par plus d'intensité lumineuse les positions successives, faciliteraient le succès de la méthode.

M. Marey nous a cité un précédent que lui-même a créé, en photographiant jusqu'à dix fois, sur la *même plaque*, un pigeon qui s'envolait librement. Cela se passait, il est vrai, en Italie, sous un beau ciel où les circonstances pouvaient être regardées comme les plus favorables.

Il y a tout lieu de croire que cette méthode des *profils de front* est pratiquement possible, et qu'il ne lui manque que la sanction expérimentale.

Nous n'insistons pas sur l'avantage considérable que l'on retirerait de son application.

Orientation ou mise en place des photographies

La base P_1, P_2, P_3... *(fig. 6)* piquetée et mesurée par les procédés ordinaires de topographie sera rapportée sur un plan à une échelle déterminée qui sera *l'échelle du rapport* — qu'il ne faut pas confondre avec l'échelle de réduction des plans de front dont nous avons parlé.

Afin d'orienter les photographies par rapport à la base P_1, P_2..., c'est-à-dire donner aux rayons principaux les mêmes directions P_1p_1, P_2p_2,... que celles qu'ils avaient au moment de l'opération, directement l'opérateur a relevé et inscrit les angles d'orientation $\widehat{p_2P_2P_1}$, $\widehat{p_3P_3P_2}$... qu'il lui sera facile de reproduire sur le papier.

La ligne d'horizon, le point principal étant supposés connus (voir plus loin), ainsi que la direction P_2X *(fig. 10)*, on placera la photographie de telle sorte que p_2 soit sur la direction P_2X à une distance $p_2P_2 = d$ et que la ligne d'horizon soit perpendiculaire à P_2p_2.

2° Si, pour une raison ou une autre, on a relevé *directement* un point M et que ce point figure aussi sur la photographie, on peut facilement mettre celle-ci en place.

On commencera par rapporter le point M sans le secours de la photographie. On coupera celle-ci suivant AB *(fig. 10)* parallèle à HH et avec $(d - a)$ on décrira un arc de cercle.

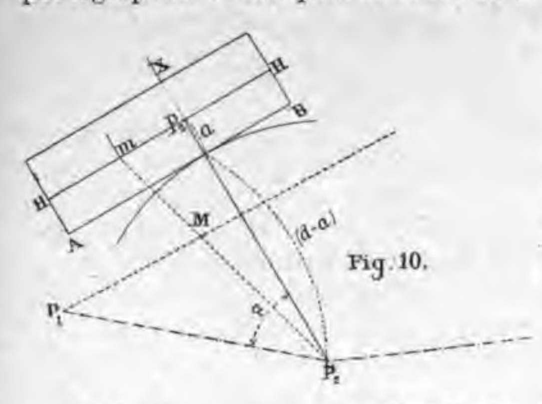


Fig. 10.

AB restant tangent au cercle, on déplacera la photographie jusqu'à ce que P_2m passe par M. Dans cette position la photographie sera orientée.

Les photographies mises en place par rapport à la base permettent d'établir le plan coté qui comporte, pour chaque point, la résolution de deux problèmes :

1° Problème de planimétrie (position);

2° Problème d'altimétrie (hauteur),

que nous allons maintenant aborder.

1° Problème de planimétrie.

Considérons un point M figurant sur deux photographies en m_a, m_b *(fig. 11)*.

Traçons $m_am'_a$, $m_bm'_b$ perpendiculaires aux lignes d'horizon.

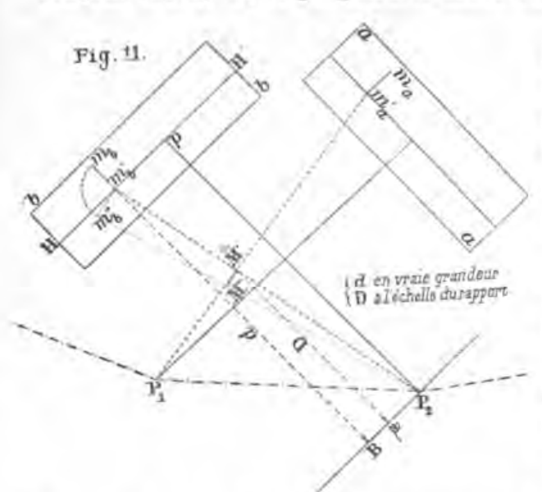


Fig. 11.

On sait que (p. 222) *le point* M *est vu de* P_2 *dans la direction* $P_2m'_b$*; il est vu de* P_1 *dans la direction* $P_1m'_a$. *Sa position est donc en* M', *intersection de ces deux lignes.*

On ferait de même pour tous les autres points.

On voit donc que, *pour la planimétrie*, la méthode a absolument la même précision que *la planchette dont l'alidade serait munie d'une lunette de visée* et maniée par un opérateur

exercé qui, encore, peut faire des erreurs, alors que la photographie n'en peut commettre.

Les photographies apportent donc dans le bureau les images du terrain, tel qu'on le verrait des extrémités P_1, P_2 de la base, ce qui permet d'appliquer le procédé de relevé dit : *à la planchette*, avec cet avantage que l'on pourra, pour chaque point, déterminer la hauteur par rapport au plan d'horizon.

2° Problème d'altimétrie.

On a vu, page 223, que l'on avait :

$$H = h.\frac{PM'}{Pm'},$$

ou

$$H = h.\frac{D}{d} \qquad \text{(formule fondamentale).}$$

En comparant les figures 5 et 11, on voit que :

$$h = m_b m'_b,$$

$$Pm' = P_2 m'_b,$$

$$PM' = P_2 M',$$

et alors :

$$H = m_b m'_b \times \frac{P_2 M'}{P_2 m'_b},$$

dont tous les éléments peuvent être mesurés.

On aurait de même :

$$H_1 = m_a m'_a \times \frac{P_1 M'}{P_1 M'_a},$$

H_1 *étant la hauteur par rapport au plan d'horizon de la station* P_2.

Remarque. — On peut aussi faire usage de la relation :

$$H = h.\frac{D}{d},$$

dans laquelle :

$D = M'p_b$, profondeur du point (BP_2, parallèle à la ligne d'horizon);

d, distance focale : $d = P_2 p$.

Solution géométrique. — La solution que nous venons d'indiquer est la *solution numérique*. On peut encore trouver H, comme on l'a indiqué pour les figures 4 et 5, en rabattant le triangle

MM'P. Pour cela, on élève en m'_b une perpendiculaire $m'_b m''_b = m_b m_b$ sur $m'_b P_2$.

On joint $m''_b P_2$; on mène M'M" parallèle à $m'_b m''_b$.

Cette longueur M'M" est, *à l'échelle de rapport* du plan, la hauteur H cherchée qui, ajoutée à la cote connue du plan d'horizon pris pour plan de comparaison, donne l'altitude du point M.

Nous n'insistons pas ici sur les avantages de la méthode photogrammétrique qui réduit considérablement les opérations sur le terrain et permet à l'ingénieur d'avoir constamment l'image de celui-ci sous les yeux.

Il ne semble pas que l'on puisse simplifier la solution planimétrique, du moins quand on est dans le cas général; mais nous avons été assez heureux pour simplifier la solution altimétrique en supprimant le calcul ou la construction de la formule,

$$H = m_b m'_b \times \frac{P_2 M'}{P_2 m'_b},$$

et le remplaçant par une lecture sur des instruments très simples auxquels nous avons donné le nom de « *Règles hypsométriques* » et que nous allons décrire.

Mais, auparavant, nous consacrerons un chapitre à la description des appareils avec lesquels on peut obtenir des perspectives exactes et qui portent le nom de *photogrammètres*.

CHAPITRE III

Instruments. — Objectifs.

De la qualité de l'objectif dépend la valeur de l'instrument avec lequel on opère.

Les phénomènes optiques qui se produisent dans les objectifs sont complexes.

Malgré notre désir de ne pas étendre ce mémoire, nous ne pouvons passer sous silence certains faits dont la connaissance est indispensable en photogrammétrie, où l'on doit connaître exactement le mode de formation des images et les éléments qui servent aux calculs.

Classification

On classe les objectifs en *simples* ou *composés*.

Objectifs simples. — Ils peuvent n'être constitués que par *une seule lentille*, ou bien par *plusieurs accolées*.

En voici quelques types :

Ménisque convergent (*fig. 12*);

Objectif simple de Ch. Chevalier (*fig. 13*);

Objectif simple de Dallmeyer (*fig. 14*).

Suivant les valeurs que l'on donne aux éléments qui composent

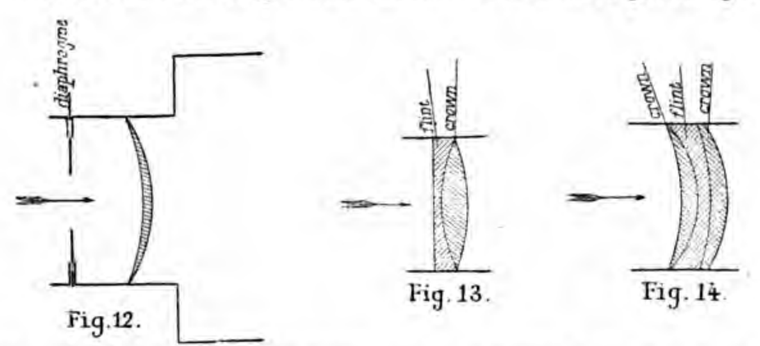


Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

ces objectifs simples, ils possèdent des qualités spéciales, telles que :

Corrigeant plus ou moins les aberrations;

Donnant une clarté plus ou moins grande, c'est-à-dire impressionnant plus ou moins rapidement la plaque sensible;

Ayant un champ de visibilité plus ou moins grand..., etc.

Objectifs composés. — Dans lesquels les lentilles composantes ne sont plus accolées.

Les principaux types sont :

Rectilinéaire de Dallmeyer (*fig. 15*);

L'aplanat du Dr Steinheil qui ne diffère du précédent que par la disposition et la grandeur des éléments (*fig. 15*).

Citons encore l'anastigmat de Zeiss.

Les objectifs composés sont les plus employés, car ils corrigent mieux :

1° Les aberrations;

2° La distorsion;

3° Le champ de visibilité est plus grand et peut atteindre 100°.

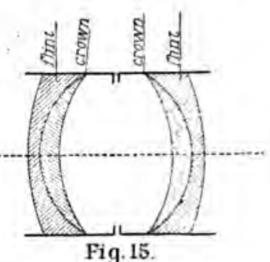
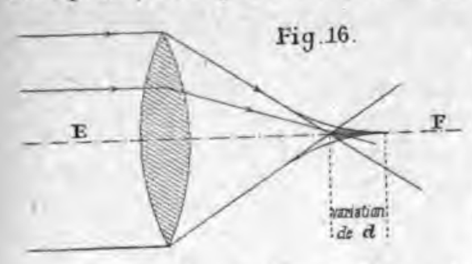


Fig. 15.

Les aberrations sont de deux sortes :

1° *Aberration de sphéricité* ou *diffusion*, par laquelle les rayons lumineux parallèles à l'axe principal FF (*fig. 16*) ne se coupent pas mathématiquement au foyer, mais forment, par leur rencontre, une surface dite *caustique*.

On comprend l'importance qu'il y a à réduire, en photogrammétrie, l'aberration de sphéricité, puisque, de ce fait, la distance principale *d n'est plus constante* pour *le même objectif* et varie d'autant plus que le point est plus éloigné de l'axe principal *(fig. 16)*.



Nous insistons sur ce fait en cas de choix d'un objectif devant servir à un photogrammètre.

On diminue l'influence de cette *erreur* en resserrant, au moyen d'un diaphragme, la zone à relever.

2° *Aberration de réfrangibilité* par laquelle les rayons de lumière blanche se décomposent et donnent des images colorées.

N. B. — Quand l'aberration de sphéricité est sensiblement réduite, on dit que l'objectif est *aplanétique*.

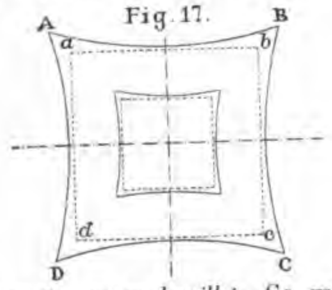
Exemple : aplanats de Steinheil, de Berthiot, d'Hermagis.

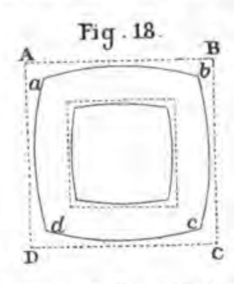
On dit que l'objectif est *achromatique* quand on a fait disparaître la coloration due à la réfrangibilité (problème d'optique des plus intéressants).

3° *Distorsion.* — La perturbation la plus grave qu'éprouvent les images photographiques est peut-être due à la distorsion que l'on constate en photographiant un papier quadrillé *abcd*.

Si l'objectif est divergent on obtiendra l'image ABCD *(fig. 17)* et la distorsion est dite en *croissant*.

Si l'objectif est convergent on aura la forme ABCD *(fig. 18)* et





la *distorsion est en barillet*. Ce moyen qui permet de constater la distorsion donne aussi la correction à faire, puisque l'on sait que la position réelle du point est *a*, et non A.

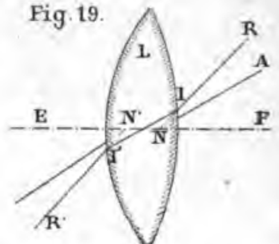
Un instrument très ingénieux, dû au commandant Moëssard, le *Tourniquet*, permet de déterminer l'angle de champ exempt de distorsion.

Points nodaux

Ces points, qui définissent rigoureusement la marche des rayons lumineux arrivant et traversant l'objectif, jouent un rôle très important en optique photographique et en particulier en photogrammétrie.

Soit une lentille L et un rayon RI qui *(fig. 19)* se réfracte en II' pour ressortir parallèlement en I'R'.

Si on considère une série de rayons peu inclinés sur l'axe (cas d'un objectif diaphragmé), on démontre (Listing) que tous ces rayons émergents vont concourir en un point fixe N appelé, pour cette raison, *point nodal émergent ou antérieur*, ou encore *centre d'arrivée.*



De même tous les rayons incidents vont aussi concourir en un même point fixe N' appelé : *point nodal d'incidence ou postérieur*, ou encore *centre de départ.*

De sorte que, au chemin réel RII'R', on peut substituer le chemin fictif RNN'R'. L'étude des points nodaux est très complexe ; il suffira de savoir que :

1° Pour toute lentille, simple ou composée, il existe deux points nodaux qui, du reste, peuvent se confondre ;

2° La position des points nodaux peut se déterminer rigoureusement par le calcul ;

3° Cette position peut se déterminer expérimentalement à 1/20 de millimètre près au moyen du tourniquet du commandant Moëssard.

La connaissance des points nodaux est indispensable en photogrammétrie ; aussi doit-on exiger du constructeur qu'il inscrive leur position sur la monture de l'objectif, ainsi que la longueur focale, le champ de visibilité, le champ exempt de distorsion et autres éléments nécessaires à la connaissance de l'objectif.

Les bons constructeurs qui, comme ceux que nous avons cités, sont des savants, sont seuls aptes à faire l'étude complète d'un objectif et à en donner les éléments *rigoureusement* exacts.

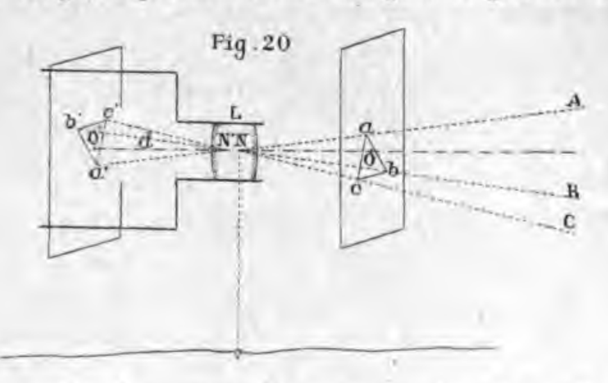
Image sur la plaque de verre dépoli. — Renversement.

Ceci dit sur les points nodaux, examinons ce qui se passe dans la chambre noire.

Soit L une lentille avec ses deux points nodaux N et N' *(fig. 20)*.

Soit ABC une figure qui donne son image renverée en *a'b'c'* sur la glace.

Lors du tirage, le positif redresse la figure et produit le même



résultat que si la glace avait été placée en *abc*, *telle que* N*o* = N'*o'*, N'o' *mesure donc la distance principale de la* perspective dont on se servira.

C'est donc la *distance* N'o' *du centre de départ* N' *à la glace qu'il convient de prendre pour* d.

$$d = N'o' \text{ et non } No'.$$

Quant au point nodal antérieur N, ou centre d'arrivée, c'est le point de vue de la perspective. Chacun des points nodaux joue donc un rôle particulier qu'il faut connaître et ne pas confondre.

Mise au point.

La mise au point pour un photogrammètre se fait toujours pour l'infini.

Dans ce cas la *distance minimum* pour laquelle les images d'un point cessent de devenir *nettes*, c'est-à-dire d'avoir un diamètre égal à 1/10 de millimètre, peut être évaluée par la formule *approchée :*

$$D = 22\, r.\, f.$$

f, longueur focale évaluée *en mètres :*

r, ouverture du diaphragme *en millimètres.*

Ainsi, dans le cas de $f = 0{,}20\ m$, si on fait :

on aura :

r =	3 *mm*,	4 *mm*,	5 *mm*,	10 *mm*,	15 *mm*,	20 *mm*,
D =	13 *m*,	18 *m*,	22 *m*,	44 *m*,	66 *m*,	88 *m*,

ces nombres ne sont qu'approchés.

Au delà de ces distances D, les images seront nettes. Plus rapprochés, les points donneraient des images floues.

On devra donc choisir le diaphragme en vue de la distance minimum D qui sera, en général, facile de connaître en photogrammétrie.

Il nous resterait à indiquer le moyen de calculer la distance focale d'un objectif. En général, pour les bons appareils, cet élément *d* sera indiqué par le constructeur avec une précision que l'on ne pourrait obtenir et qui, du reste, est inutile (1/10 de millimètre).

En traitant les différents instruments dont on peut se servir nous indiquerons des méthodes simples, propres à chacun d'eux, pouvant donner avec une approximation suffisante la valeur de *d* (à 1 *mm* près) et, en tout cas, servir de moyen de vérification, ce qui sera plutôt leur véritable rôle.

PHOTOGRAMMÈTRES

Un photogrammètre est un appareil photographique susceptible de donner des *perspectives exactes* dont *les éléments soient connus*; il faut donc que l'on puisse toujours :

1° Rendre la glace de verre verticale;
2° Tracer la ligne d'horizon;
3° Indiquer le point principal;
4° Déterminer la distance focale *d*;
5° Orienter les photographies.

A part la quatrième condition, qui est un élément fixe, connu une fois pour toutes pour chaque objectif, les autres opérations constituent la *mise en station* et *les réglages*.

Quoique la photogrammétrie ne soit pas encore d'un usage très répandu, il existe pourtant un grand nombre de types de photogrammètres. Cela se conçoit, car, ne trouvant pas d'instruments dans le commerce, chaque ingénieur en a fait construire d'après ses idées et lui a donné son nom; de là presque autant de photogrammètres différents que d'opérateurs.

Comme ces opérateurs étaient tous des hommes de science, ils se sont appliqués à perfectionner, en recherchant la plus grande précision possible, tels les Allemands qui ont fait du photogrammètre un véritable instrument géodésique et auquel ils ont donné, pour bien en indiquer le caractère, le nom de *photothéodolite*.

D'autres plus modestes, mais non moins utiles, ont voulu, comme le Dr Le Bon, rendre, par des adaptations simples et peu coûteuses, un appareil photographique *quelconque* susceptible de donner des perspectives suffisantes pour la plupart des cas.

Ces deux points de vue nous ont conduit à grouper les instruments en deux classes :

1° Photogrammètres ou appareils de précision;

2° Appareils adoptés;

et nous sommes heureux d'avoir comme types, dans chacune d'elles, deux appareils français :

1° Le dernier modèle du colonel Laussedat;

2° L'appareil adapté du Dr Le Bon, qui lui a servi dans son exploration des Indes.

Nous décrirons donc plus particulièrement chacun de ces deux types en même temps que nous nous ferons un devoir de citer et de donner les figures des instruments d'auteurs qui, par leur savoir et leurs travaux, ont donné à la photogrammétrie une impulsion telle que leur nom est en vedette dans les annales de cette science.

PREMIÈRE CLASSE

Photogrammètres de précision ou Photothéodolites.

Type. — Photogrammètre du Colonel Laussedat (*fig. 21*).

Chambre noire. — C'est une caisse rigide portant à l'arrière la plaque de verre dépoli et à l'avant l'objectif qui est fixé dans un châssis qui peut s'élever ou s'abaisser de quantités que l'on lit sur une graduation gravée sur le bord du châssis.

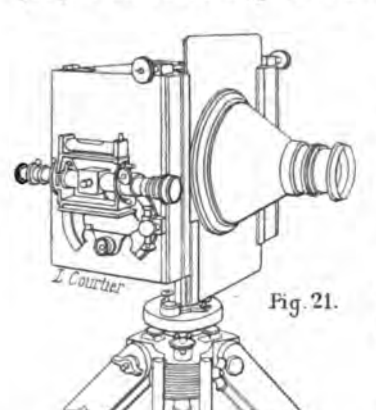


Fig. 21.

La longueur focale est donc absolument *fixe*.

Le but du mouvement vertical donné à l'objectif est de le fixer de façon à embrasser la zone la plus intéressante du terrain à relever.

Cercle horizontal. — Cette chambre tourne au-dessus d'un cercle horizontal ou azimutal gradué, reposant au moyen de trois vis calantes sur un trépied analogue à celui d'un niveau à bulle.

Une alidade, entrainée par la caisse, permet de lire les angles dont elle a tourné.

Le système du cercle horizontal est semblable à celui de tous les instruments topographiques (cercle, tachéomètre) — pince d'arrêt, vis de rappel, etc...

Tout l'ensemble est construit de telle façon que quand le plateau est horizontal la plaque de verre est verticale; si cette condition n'est pas remplie l'instrument est défectueux.

Cercle vertical. — Le système du cercle vertical est également semblable à ceux des instruments géodésiques. Il est fixé sur l'un des côtés de la caisse (voir *fig. 21*).

Une lunette se meut devant le cercle gradué et donne, à chaque instant, l'inclinaison de sa direction.

Le zéro de la graduation correspond à l'horizontalité de la lunette, à moins d'une erreur dite de *collimation* dont on tient compte.

Niveau. — Toujours, comme dans les instruments géodésiques, un niveau à bulle à retournement permet, au moyen des vis calantes, de rendre l'instrument horizontal.

La lunette est *montée en stadia* et l'ensemble des cercles, horizontal et vertical, et de la lunette constitue un tachéomètre dont on se servira après avoir fait les vérifications et réglages usités :

Centrage de niveau;
Calage de l'instrument;
Angle diastimométrique;
Axe optique de la lunette;
Zéro du vernier vertical (erreur de collimation).

. . . .

Nous n'insistons pas sur ces réglages que tous les opérateurs connaissent.

Conditions spéciales aux photogrammètres

1° Comme nous l'avons déjà dit, la plaque de verre dépoli doit être verticale quand l'instrument est calé horizontalement.

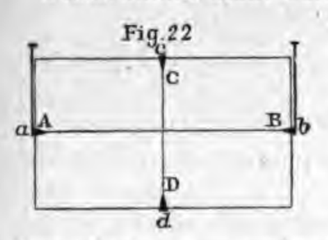
2° L'axe optique de la lunette, *rendue horizontale*, doit être parallèle et à la même hauteur que l'axe de l'objectif.

Ces conditions doivent être satisfaites par le constructeur, sans quoi l'appareil est défectueux.

DÉTERMINATION DE LA LIGNE D'HORIZON ET DU POINT PRINCIPAL

Ligne d'horizon. — La ligne d'horizon se détermine au moyen de deux pointes *a*, *b*, qui peuvent se déplacer devant la plaque et se fixer à demeure *(fig. 22)*.

L'instrument étant calé et l'axe de la lunette *rendu horizontal*, on visera successivement *avec celle-ci*, en faisant tourner tout l'ensemble, deux points A et B suffisamment éloignés. On *remarquera* ces deux points afin de pouvoir *reconnaître leur image*.

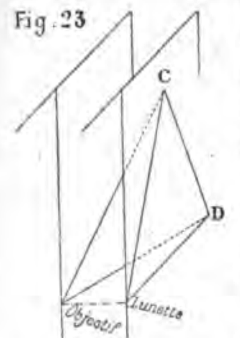


On se reportera à la glace de verre dépoli sur laquelle A, B, *déterminent la ligne d'horizon;* on amènera les deux pointes *a*, *b* à se projeter sur AB. Dans cette position *ab* est la ligne d'horizon ; on fixera alors *a* et *b*.

La plaque sensible ayant remplacé le verre dépoli, sans que les repères aient pu se déplacer, ceux-ci s'imprimeront sur elle en *a*, *b* et se reproduiront sur la photographie ; en les réunissant par un trait fin on aura la ligne d'horizon.

Quoique fixes, il faudra avoir soin de vérifier les repères de temps en temps.

Point principal. — L'axe optique de la lunette décrivant, quand on la déplace verticalement, un plan parallèle au plan vertical qui contient l'axe optique de l'objectif et en étant toujours très rapproché, on peut considérer deux points C, D (suffisamment éloignés) du premier comme appartenant au second *(fig. 23)*.



Les vis d'arrêt du cercle horizontal étant serrées on visera, *avec la lunette*, deux points C, D que l'on remarquera afin de reconnaître les images.

On se reportera à la glace où l'on cherchera C et D. *cd* doit coïncider avec CD. Si cela n'a pas lieu on amènera les index *c*, *d* à la position qu'ils doivent occuper *(fig. 22)*.

Comme les repères *a*, *b*, les index *c*, *d* s'impriment sur les photographies.

Le point principal est évidemment à l'intersection de *ab* et de *cd*.

Si les repères *a*, *b* restant fixes, on élève ou l'on abaisse l'ob-

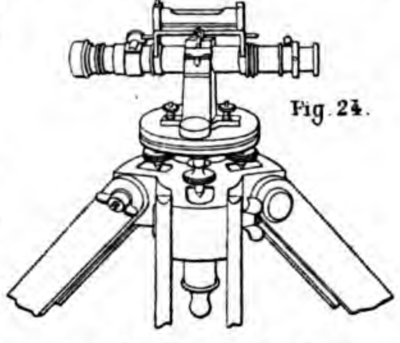
jectif au moyen du châssis porte-objectif, comme nous avons vu qu'on pouvait le faire, il est clair que la ligne *ab* est élevée ou abaissée d'autant par rapport à la ligne d'horizon; il conviendra donc de tenir compte de ce déplacement que l'on lira sur la graduation qui est gravée au bord du châssis porte-objectif.

Usage des organes géodésiques

Détermination de la base. — Dans les opérations faites dans le but d'établir des tracés, il convient de déterminer la base *(p. 225)* par les méthodes ordinaires, indépendantes de la photographie. Outre la plus grande précision que l'on obtient pour ces *points spéciaux*, sur lesquels l'attention est portée, on a ainsi des moyens de vérification; on isole les erreurs qui pourraient se produire en les rendant locales sans qu'elles puissent affecter l'ensemble des opérations.

C'est dans ce but que tous les photogrammètres portent les éléments d'un tachéomètre et c'est pourquoi les étrangers leur ont donné le nom générique de *photothéodolites*.

Dédoublement de l'appareil. — C'est aussi pour faciliter cette opération de la détermination de la base que le colonel Laussedat a rendu indépendant le *système du tachéomètre* du *système de la chambre photographique*.


Fig. 24.

On pourra donc se servir :

1° De l'appareil complet *(fig. 21)*;

2° Du cercle seul, sans la chambre *(fig. 24)*;

3° De la chambre photographique seule.

Sans avoir besoin d'insister, on comprendra l'avantage de cette disposition.

Orientation des photographies. — Nous avons consacré un paragraphe à la mise en place des photographies (p. 229, *fig. 6*) et nous avons dit qu'il suffisait d'avoir relevé les angles tels que $\widehat{p_2P_2P_1}$, p_2P_2 étant la direction de l'axe principal de l'appareil mis en station.

Le cercle horizontal ou azimutal permet de relever et d'inscrire ces angles.

Boussole. — Si l'instrument est muni d'une boussole ou déclinatoire, le relevé des angles d'orientation $\widehat{p_2P_2P_1}$ sera simplifié, ainsi que l'orientation de l'appareil à chaque station (méthode tachéométrique). Dans ce cas, l'appareil ne devra comporter aucune pièce en fer ou en acier, qui devront être remplacées par le cuivre ou l'aluminium.

Points remarquables. — La lunette peut encore servir à viser, de deux stations différentes, des points tels que clochers, angles de maison, ou autres, qui se placeront sur le plan *par recoupement* et pourront aussi être utilisés à la mise en place des photographies, si ces points y figurent.

Détermination de la distance focale ou distance principale

Nous indiquerons plusieurs procédés pratiques pour déterminer ou vérifier la distance focale ou distance principale d.

Nous avons vu qu'en général le constructeur la fera connaitre avec une approximation que l'opérateur ne pourrait atteindre. Mais comme il suffit de connaître d à 1 *mm* près, les méthodes que nous allons indiquer suffisent.

Première méthode, applicable aux deux classes. (Photogrammètres et appareils adaptés.)

Elle consiste à mesurer les éléments H, h, D de la formule fondamentale :

$$\frac{h}{H} = \frac{d}{D}.$$

On mesurera une ligne verticale H, on chainera la profondeur D à laquelle se trouve placé l'instrument et on mesurera la longueur h sur la photographie ou sur la plaque de verre dépoli. On remplacera H, h, D par leur valeur et on aura :

$$d = D \times \frac{h}{H}.$$

Pour avoir une ligne verticale, on pourra prendre l'angle d'une maison ; — faire suspendre une mire, une chaine, etc.

Quel que soit l'instrument que l'on ait, on peut appliquer cette méthode.

Deuxième méthode, applicable aux photogrammètres. (*1re classe.*)

Elle consiste à mettre le photogrammètre en station, à *remarquer* un point M qui forme son image sur la ligne d'horizon et à mesurer *sur la glace* exactement la distance pM, p étant le point principal (*fig. 25*).

Puis, au moyen de la lunette et du cercle horizontal, relever directement l'angle horizontal

$\widehat{pPM} = \alpha$.

Fig. 25

Ayant pM et α on pourra construire le triangle PpM, par suite mesurer directement

$$Pp = d.$$

Par le calcul on aurait :

$$d = pM . \cot \alpha.$$

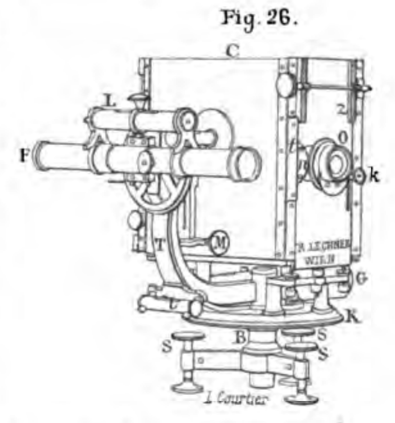
Pour appliquer cette méthode, il faut que l'instrument soit muni d'un cercle azimutal.

Photothéodolite Pollack (*fig. 26*).

Comme le précédent, le photogrammètre Pollack comporte, outre la chambre noire, des organes géodésiques.

C, chambre photographique rigide, — par conséquent à distance focale constante, — supportée par un plateau dormant avec cercle horizontal K et vis calantes S.

Fig. 26.



O, objectif (anastigmat Zeiss) mobile dans le sens vertical et dont les déplacements se lisent sur la réglette divisée *t*, munie d'un vernier *n*.

F, lunette *montée en stadia*, équilibrée par un contrepoids G. Un cercle vertical indique l'angle d'inclinaison de la lunette; le zéro de la graduation répondant à l'horizontalité.

La chambre est munie, à l'arrière, près de la glace dépolie, de fils croisés avec quatre repères M (*fig. 27*) : deux horizontaux et deux

verticaux (ligne d'horizon, verticale principale). En vue des réglages, de petits déplacements peuvent être donnés à ces repères au moyen de vis.

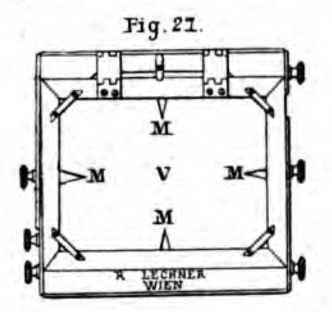


Fig. 27.

La lunette a, en général, une longueur focale égale à 0,27 *m* et un grossissement de 9 à 18.

Par un dispositif spécial, la plaque sensible occupe toujours, dans le châssis, mathématiquement la position qu'elle doit avoir et ne laisse aucun jeu qui puisse faire varier la distance focale.

Réglages et usage. — Ce que nous avons dit à ce sujet, à propos du photogrammètre du colonel Laussedat, nous dispense d'y revenir.

Photogrammètre à planchette du capitaine baron Hübl, de l'Institut militaire de Vienne *(fig. 28)*.

Description sommaire

C, chambre noire photographique rigide en aluminium.

M, planchette en bois, sur laquelle se place un carton à dessin maintenu par quatre pinces *n*.

Fig 28.

K, graphomètre à lunette muni d'une alidade horizontale servant à enregistrer les angles horizontaux et pivotant sur le tourillon *z*.

z, tourillon ou pivot pouvant se placer au *centre* de la planchette ou *au-dessus de l'objectif*.

Pour que l'on puisse utiliser l'alidade dans les deux positions du pivot, l'appareil est muni de deux réglettes de longueur différente. On peut fixer la lunette sur l'une ou l'autre de ces règles.

gg, deux butoirs latéraux correspondant à l'angle d'ouverture de l'instrument; $\widehat{gzg}$ est donc le secteur qui sera photographié; en dehors, les objets n'apparaissent plus sur la plaque.

h, repère qui correspond au plan vertical principal ; celui qui contient l'axe optique de l'objectif : *zh*, bissectrice de $\widehat{gzg}$.

p, poire pneumatique actionnant l'obturateur.

t, bouton permettant le déplacement vertical de l'objectif ; déplacement mesuré sur une règle.

R, cadre s'ouvrant au moyen d'un système de levier à genou L. Un dispositif spécial assure la mise en place exacte de la plaque sensible.

T, plateau horizontal gradué.

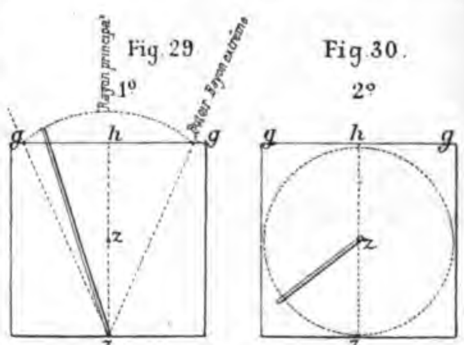
ss, vis calantes.

x, vis de correction du cadre applique *a*.

vv, repères verticaux sur lesquels on peut tendre un fil de cocon, de même que sur les repères horizontaux.

Réglages et mise en station. — Ils se font suivant les principes que nous avons déjà indiqués.

Usage de l'appareil. — On peut s'en servir comme d'un photogrammètre, et, en plus, comme d'une planchette. C'est pour faciliter ce second emploi, indépendant du premier, que le pivot, l'alidade et l'une des règles peuvent se fixer soit au milieu *z* de la planchette, soit en avant, en z_1, au-dessus de l'objectif.



Pour les points de précision, le constructeur conseille la plus grande des deux règles avec le point de rotation extrême z_1 *(fig. 29)*.

Pour les points situés de côté, ou par derrière, on utilisera le point de rotation moyen *z*, avec la petite règle *(fig. 30)*.

Photogrammètre Lechner *(fig. 31)*.

M. Lechner, de Vienne, est aussi le constructeur des appareils Pollack, Hübl, Werner.

La figure 31 indique la forme de l'instrument. Il tient la place entre les photothéodolites et les appareils adaptés.

La caisse est rigide, montée sur un plateau K divisé en demi-degrés ou grades et mobile autour d'un axe vertical B. Le tout est supporté par trois vis calantes S, avec niveaux de réglage.

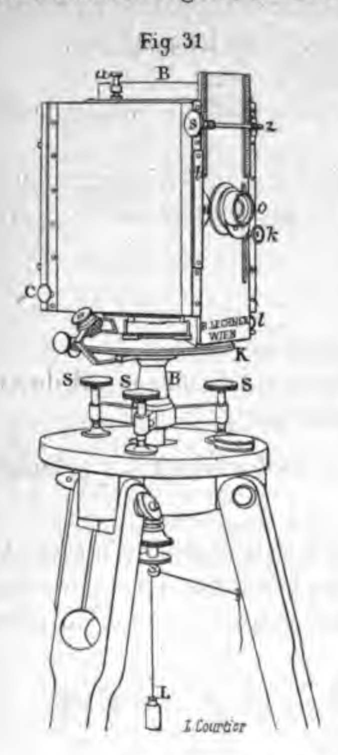


Fig 31

La chambre est reliée à l'alidade du cercle horizontal par quatre vis, dont *deux*, suivant la direction de l'axe optique, servent à assurer la verticalité de la glace et *deux*, dans la direction perpendiculaire, servent à corriger le croisement des axes sur la glace.

L'objectif *o* est un anastigmat de Zeiss. Il peut se déplacer verticalement au moyen d'une crémaillère *s*. Une réglette *t*, avec vernier *n*, sert à mesurer ce déplacement.

L'usage et les réglages sont, du reste, ceux que nous avons déjà mentionnés.

Autres photogrammètres.

Il existe encore, à notre connaissance, plusieurs photogrammètres qu'il convient de mentionner :

Photothéodolite du Dr *Meydenbauer* (allemand);

Appareil photogrammétrique du Dr *Vogel* et du professeur *Doergens* (allemand).

Photothéodolite du Dr *Koppe* (allemand).

Photothéodolite de l'ingénieur *Pio-Paganini* (italien);

Phototachéomètre *Vallot* (le dernier en date). Cet appareil spécialement étudié pour les dénivellations considérables et en vue du travail dans les hautes altitudes est actuellement en fonctions pour les levés du massif du Mont-Blanc.

Nous avons voulu, par cette nomenclature, montrer que les appareils photogrammétriques sont nombreux, qu'ils ont été imaginés et construits par des hommes de science et prouver ainsi la généralité et le crédit que la photogrammétrie rencontre à l'étranger.

DEUXIÈME CLASSE

Appareils adaptés

TYPE : APPAREIL DU D^r LE BON.

Le plus simple des appareils photogrammétriques est la chambre photographique ordinaire à laquelle on apporte, comme l'a fait le D^r Le Bon, les modifications suivantes.

Les conditions à remplir sont, du reste, celles que nous avons énumérées pour la première classe.

1° *Verticalité de la glace.* — Elle est toujours la conséquence de l'horizontalité de la planchette, chose que l'on vérifiera au moyen d'un *petit niveau sphérique* encastré dans l'épaisseur de la planchette.

On peut faire faire cette adaptation pour le prix de 5 à 6 francs.

2° Pour arriver à placer la bulle au centre du niveau (la centrer), il faut pouvoir faire osciller la chambre sur son pied. Le D^r Le Bon y arrive, en moins d'une demi-minute, en interposant, entre le pied et la chambre, une *calotte sphérique (fig. 32)* imitée de la calotte sphérique du colonel Goulier et dont l'invention, remontant à 1840, est due à **Bodin,** mécanicien attaché au magasin des instruments de l'École de Metz. Cette calotte sphérique,

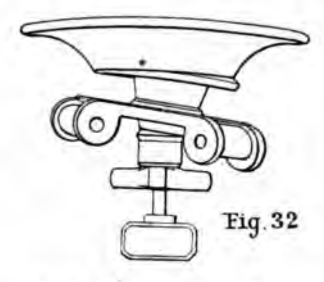
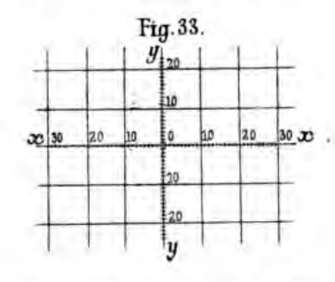


Fig. 32

Fig. 33.



qui peut s'adapter à tous les pieds, permet à la chambre de *s'incliner en tous sens* et, une fois fixée, de *tourner autour de son axe* en *restant horizontale.*

3° La troisième modification à faire est de diviser en millimètres les axes XX, YY de la glace de verre dépoli *(fig. 33).*

De 10 *mm* en 10 *mm* sont tracées des parallèles aux axes.

Ces divisions doivent être faites à l'acide fluorhydrique; leur prix est de 10 à 12 francs.

4° Dans les appareils que l'on vend couramment le châssis porte-objectif est mobile verticalement; une graduation millimé-

trique placée sur le côté du porte-objectif indique de combien on l'a élevé ou abaissé.

Si cette *graduation latérale* n'était pas faite on devrait la faire faire ou l'indiquer soi-même en collant une bande de papier préalablement divisée en millimètres.

5° Il est utile, en vue de simplifier l'orientation de l'instrument, de faire encastrer dans l'épaisseur de la planchette *une boussole* divisée en degrés ; bien entendu, rien, dans l'instrument, n'étant en fer ou en acier.

Telles sont les seules modifications à faire à un appareil photographique ordinaire pour le transformer en un photogrammètre ; nous les résumons :

1° Niveau sphérique encastré dans la planchette ;

2° Calotte sphérique permettant de centrer le niveau ;

3° Divisions millimétriques des axes de la plaque de verre et centimétriques sur la surface ;

4° Échelle millimétrique latérale dans le cas où le châssis porte-objectif est mobile ;

5° Boussole encastrée dans la planchette.

Aucune de ces modifications n'est de nature à modifier le poids, ni l'apparence de l'appareil. Elle n'en élève pas non plus beaucoup le prix. Disons que l'on trouve couramment dans le commerce des chambres ainsi préparées.

Les conditions que nous avons énumérées (p. 237) s'obtiendront de la façon suivante :

1° *Verticalité de la glace.* — Elle s'obtiendra par une série de tâtonnements au moyen de la calotte sphérique.

2° et 3° *Détermination* de la *ligne d'horizon* et du *point principal.* On emploiera la méthode que nous avons indiquée (p. 240) à propos des instruments de la 1re classe. Mais, comme, ici, il n'y a pas de lunette déterminant le plan d'horizon et visant deux points A et B qui y sont contenus, on aura recours à un instrument auxiliaire (niveau à bulle ou autre) dont on établira la ligne de visée sensiblement à la même hauteur que l'axe optique de l'appareil et on opérera comme il a été dit plus haut.

Comme il n'y a pas de repère *ab*, on note, et on marque d'un trait, à quelle division de l'échelle millimétrique du châssis porte-objectif il faut arrêter celui-ci pour que l'axe XX de la glace coïncide avec la ligne d'horizon.

Cette position de l'objectif pour laquelle XX coïncide avec la ligne d'horizon sera la ***position initiale*** et si, pour les besoins, on vient à élever ou à abaisser l'objectif, il faudra, sur la photographie, tracer la ligne d'horizon à une distance α de la ligne médiane XX, égale à la quantité dont on a déplacé le châssis et que l'on aura eu soin d'inscrire en la lisant sur l'échelle latérale *(fig. 34)*.

Fig. 34

y — *Ligne d'horizon* — *a* — *x* — *x* — *y*

Comme les chambres sont à soufflet on peut leur faire faire *quartier* et opérer avec l'autre dimension ; YY devient alors horizontal. On opère avec YY comme on l'a fait pour XX : on reconnaîtra qu'il coïncide avec la ligne d'horizon déterminée par l'appareil auxiliaire, et qu'alors son intersection avec XX (position initiale) donne le point principal p.

Cette opération de la détermination des positions initiales se fait une fois pour toutes. Si l'opérateur n'a pas suffisamment confiance en lui-même, il pourra s'adresser à un intermédiaire qui peut, du reste, être étranger à l'art du photographe.

4° ***Détermination de la distance focale*** d. — Nous avons vu (p. **242**) une méthode générale qui s'applique à tous les instruments. C'est même celle que nous conseillons.

Avec une chambre à soufflet, on peut mettre au point des objets à distance finie, c'est-à-dire plus rapprochée que la distance minimum D (p. **236**) qui correspond à la mise au point à l'infini.

Troisième méthode, applicable aux chambres à tirage (soufflet).

Quelle que soit la mise au point, il existe une relation (formule du grossissement) entre une verticale H, sa perspective h, la distance focale principale d, et la longueur l de l'objet H au point nodal d'incidence ; cette relation est :

$$\pm \frac{h}{H} = \frac{d}{d-l}.$$

Si l'image est droite on prendra le signe (+) ; si l'image est renversée, le signe (—), qui convient dans le cas actuel :

$$-\frac{h}{H} = \frac{d}{d-l}.$$

Si on désigne par $\frac{1}{n}$ le rapport $\left(\frac{h}{H}\right)$,

on a : $$d = \frac{l}{(n+1)}.$$

Cette méthode présente cet avantage qu'elle s'applique pour une mise au point quelconque, que l'on n'a pas besoin de connaître; de sorte que l'objet (la verticale H) peut se trouver très rapproché de l'objectif et donner une image h relativement grande, ce qui diminue l'importance de l'erreur de mensuration.

Pour ce calcul, on substitue à l la *distance de l'objet* H *à l'objectif*, distance que l'on mesure avec une règle.

Si, par exemple, on a : $H = 0{,}400\ m$, $h = 0{,}092\ m$, $l = 1{,}20\ m$,

$$\frac{1}{n} = \frac{92}{400} \qquad d = \frac{92 \times 1{,}20\, m}{92 + 400},$$

$$d = 0{,}224\ m$$

Une fois la valeur de la distance focale principale déterminée, on repérera la position de la glace qui lui correspond. Comme le châssis porte-glace se meut sur une échelle horizontale graduée (on l'établira si elle n'existe pas), on aura à chaque instant la distance focale qui correspond aux positions de la glace, positions qui serviront au cas d'objets plus rapprochés que D, distance minima pour la mise au point à l'infini (p. 236).

5° Mesures des angles.

La division en millimètres des axes de la glace permet de mesurer les angles ou du moins leur tangente.

1° *Angles horizontaux.* — *a)* Les points A et B, dont on veut mesurer la distance angulaire $\widehat{AOB}$, sont sur le plan d'horizon *(fig. 35)*.

Fig. 35

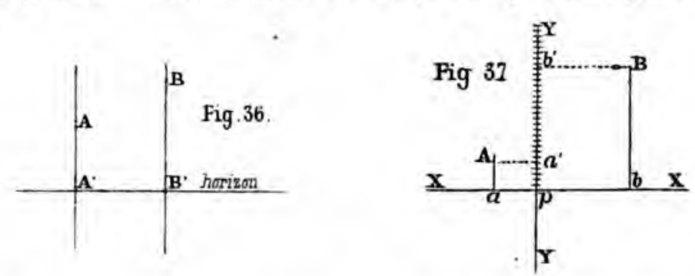
$$\widehat{AOB} = \widehat{bop} + \widehat{poa}$$

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \widehat{bop} = \dfrac{bp}{d} \\ \operatorname{tg} \widehat{poa} = \dfrac{pa}{d} \end{cases} \qquad op = d$$

pa, pb se lisent directement sur l'axe XX de la glace, d est connu; le calcul est donc très simple.

b) Les points A et B ne sont pas dans le plan d'horizon *(fig. 36)*. Leur distance angulaire est alors celle de leur verticale dont les pieds A', B' sur le plan d'horizon formeront leur image en a', b' dont il sera facile d'évaluer la position grâce au quadrillage de la glace. On retombe ainsi sur le cas précédent.

On voit que l'on ne peut pas mesurer directement un angle horizontal plus grand que l'angle d'ouverture de l'appareil $\widehat{XoX}$ (*fig. 35*). Mais en fractionnant l'horizon, au moyen de repères natu-



rels, on pourra en faire le tour, comme on le fait avec le sextant qui, lui aussi, ne mesure qu'une fraction de la circonférence.

2° *Angles verticaux.* — Ces angles se mesurent sur l'axe YY de la glace.

La distance angulaire verticale de deux points A et B est représentée par $\widehat{b'oa'}$ (*o* foyer de l'appareil) (*fig. 37*).

$$\widehat{b'oa'} = \widehat{b'op} - \widehat{a'op}$$

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \widehat{b'op} = \dfrac{b'p}{d} \\[2ex] \operatorname{tg} \widehat{a'op} = \dfrac{a'p}{d}; \end{cases}$$

pour plus de facilité dans les mesures de $b'p$, $a'p$, on fera pivoter la chambre de façon que A se projette sur YY; on lira $a'p$, puis on amènera YY à couvrir B et on lira $b'p$.

Conversion des tangentes en degrés. — Tables et graphiques.

Pour éviter tout calcul lors des opérations sur le terrain on calculera d'avance les valeurs de $\left(\frac{X}{d}\right)$ ou $\left(\frac{Y}{d}\right)$, X ou Y variant de millimètre en millimètre et d ayant la valeur de la distance focale de l'appareil dont on se sert; ces rapports $\frac{X}{d}$, $\frac{Y}{d}$ expriment les tangentes naturelles et au regard on inscrira la valeur en degrés des angles qu'elles représentent.

Graphique. — On peut aussi se servir du graphique suivant, très simple à construire *(fig. 38)* :

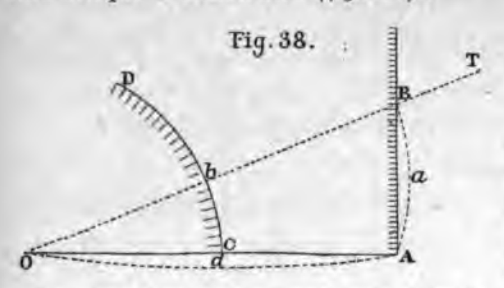


Fig. 38.

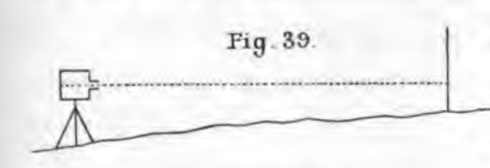
$OA = d$

AB divisé en millimètres

On applique un rapporteur COD et on pointe les degrés ; à une longueur a, lue sur la glace, correspond l'arc cb. ObBT est un fil fixé en O.

La chambre photographique, munie d'une glace dont les axes sont divisés en millimètres, constitue donc un *véritable théodolite*, donnant les angles horizontaux et verticaux, qui pourra servir à résoudre tous les problèmes usuels de trigonométrie, dont l'énumération serait trop longue, et qui se trouvent dans tous les traités de trigonométrie ou de topographie.

De plus, la ligne d'horizon XX déterminant un plan horizontal, on peut niveler avec la chambre photographique ordinaire munie des accessoires que nous avons indiqués et, bien entendu, rendue horizontale *(fig. 39)*.


Fig. 39.

Un *appareil adapté* constitue donc un *instrument topographique complet* et nous insistons sur ce point en vue de faire connaître les ressources qu'il offre à l'explorateur, au touriste, à l'amateur.

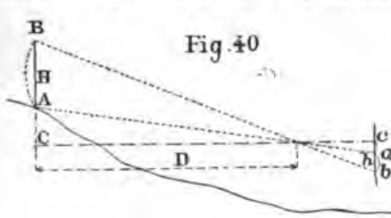


Fig. 40

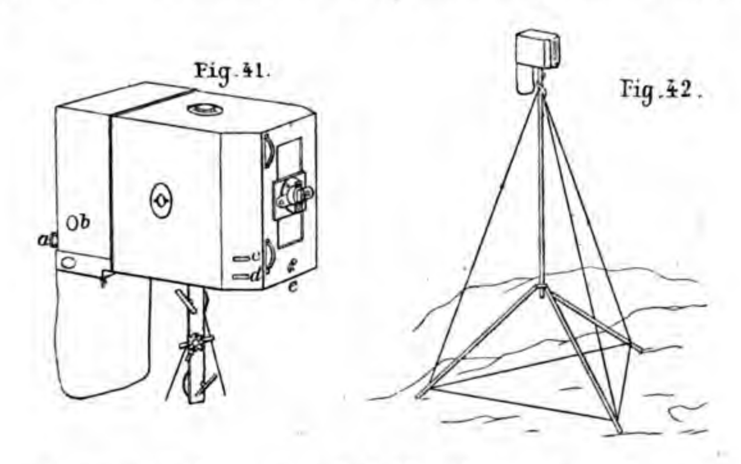
Comme la glace divisée donne la mesure h de l'image d'une mire H et par suite son éloignement *(fig. 40)*, $D = \frac{d \times H}{h}$; qu'il est facile aussi d'y lire ac et d'en conclure AC, c'est-à-dire la distance de A au-dessus du plan d'horizon, on a à la fois la cote de A, sa distance D et son orientation (angle horizontal).

On peut donc *se servir* de la *chambre photographique* comme d'un *tachéomètre*.

Appareil Meydenbauer.

Nous rangerons dans cette classe d'instruments le ***photogrammètre, petit modèle,*** du Dr ***Meydenbauer***, quoiqu'il ait été construit spécialement et que la chambre soit rigide *(fig. 41* et *42)*.

Les dimensions de la chambre sont 9 *cm* × 12 *cm*, elle pèse 750 *gr*. Elle est montée sur un pied à trois branches qui, en se repliant,



forme une canne de voyage de 0,85 *m* de hauteur. Des cordes à violon tendues par des clés maintiennent l'ensemble rigide.

Une poche pouvant contenir 12 plaques du poids de 500 *gr*, et un châssis mobile actionné par *a*, *b*, permettent automatiquement l'échange des plaques.

Des boutons permettent, en les pressant, d'avoir une introduction instantanée ou momentanée de la lumière.

Les réglages à faire sont ceux que nous avons indiqués plus haut.

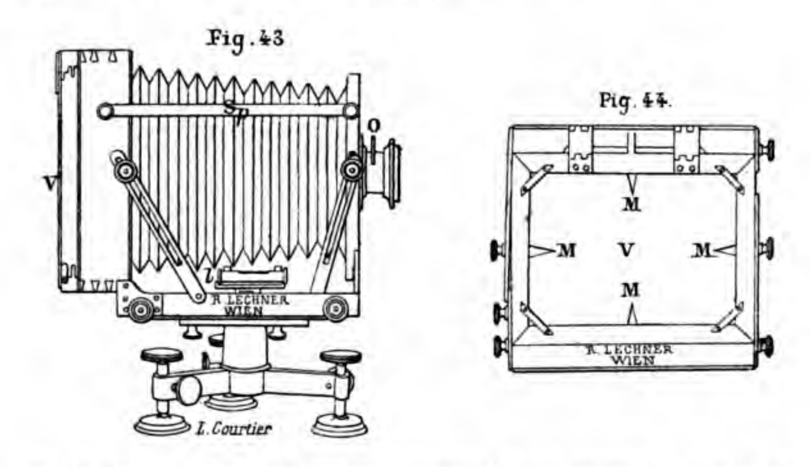
Appareil adapté de Werner *(fig. 43)*.

A un appareil à soufflet ordinaire, on fait adapter un plateau à vis calantes et deux niveaux en croix pour la mise horizontale de ce plateau.

Le plateau, par suite la chambre, est mobile sur un axe vertical et maintenu par une vis d'arrêt avec vis de rappel.

La verticalité de la plaque est assurée au moyen de deux guides.

Des repères, ou mieux une échelle graduée, permettent de donner à l'instrument exactement la longueur qui correspond à la longueur focale de l'objectif employé.



Cette longueur est maintenue immuable au moyen d'une tringle S_p qui relie les deux cadres.

Axes, ligne d'horizon, distance focale. — Comme pour les autres instruments que nous avons déjà étudiés.

Objectif. — Anastigmat de Zeiss.

DEUXIÈME PARTIE

Cette seconde partie est entièrement consacrée aux instruments et nouvelles méthodes que nous proposons en vue de simplifier le problème d'altimétrie, c'est-à-dire la détermination de la hauteur d'un point par rapport au plan d'horizon, pris pour plan de comparaison, et d'arriver ainsi à la même simplicité que pour le problème de planimétrie.

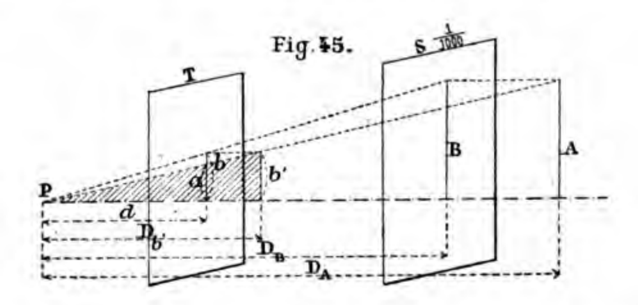
Remarque. — *Si on connaît la longueur* h *de la perspective d'une ligne H située dans un plan de front, pour lequel l'échelle de réduction est* $\frac{1}{1000}$ *on a de suite la valeur de* H; $H = 1000\,h$.

En général, si l'échelle du plan de front où se produit l'image h est $\frac{1}{m}$, on a :

$$H = m.h.$$

Première solution : Règle hypnométrique.
(Modèle n° 1.)

Nous abordons maintenant la première solution sur laquelle nous nous étendrons, car c'est à elle que nous donnons, de beaucoup, la préférence, tant à cause de sa simplicité que de sa précision qui est, comme on le verra, en quelque sorte illimitée.



Soit une perspective dont les éléments sont les suivants (*figure 45*) :

T, plan du tableau ;
A, une verticale dont la profondeur est D_A ;
a, la perspective de A ;

S, le plan dont l'échelle de réduction est de $\frac{1}{1000}$, de sorte que si A vient en B (A = B), la perspective b de B sera $b = \frac{B}{1\,000}$.

Déplaçons b parallèlement à lui-même, de façon qu'il vienne en b' tel que $b' = b$ et que a puisse être regardé comme la perspective de b'.

Cherchons où se trouve placé b', c'est-à-dire $D_{b'}$.

On a *(figure 45)* :

$$\frac{b'}{D_{b'}} = \frac{A}{D_A}, \quad \text{d'où} \quad D_{b'} = \frac{D_A}{1000};$$

donc, pour avoir b' il suffit de *transporter* a, comme le montre la figure, *dans le plan de front dont la profondeur est* $\frac{D}{1\,000}$.

L'appareil primitif, re présenté figure 46, permetd'avoir de suite la valeur $b' = \frac{H}{1000}$.

Soient : M, la perspective d'un point dont on veut avoir la hauteur H au-dessus du plan d'horizon ;

R, un point *fixe* ou *repère de la règle* et tel que MR = d.

On placera la règle de façon que le pied de la verticale de M *soit* R.

Dans ces conditions, le triangle MRP n'est autre chose que le triangle (a) (d).P de la figure 45. Et si, au préalable, on a placé et fixé l'équerre BD de façon que $PB = \frac{D}{1000} = D_{b'}$, on aura, comme dans la figure précédente :

Fig. 46

$$BC = b' = \frac{H}{1\,000}$$

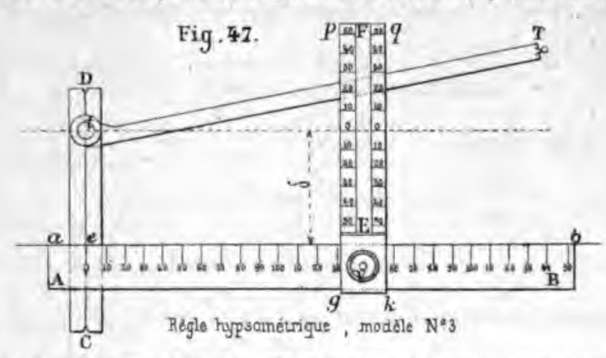
et on lira de suite :

$$H = 1\,000 . BC.$$

Nota. — La profondeur D du point se mesure toujours directement au plan supposé rapporté.

DESCRIPTION ET USAGE DE LA RÈGLE

La règle telle que nous l'avons fait exécuter est représentée par la figure 47. AB est une règle graduée en 1/2 millimètres, sur laquelle est fixée, à l'une de ses extrémités, une lame métal-



Règle hypsométrique, modèle N°3

lique CD où se trouve tracé un trait fin, rigoureusement perpendiculaire à l'arête *ab* de AB et terminé par deux encoches C, D.

EF est une autre règle, à arêtes *gp*, *kq* parallèles et biseautées divisée chacune en demi-millimètres.

EF coulisse à frottement doux sur AB en lui restant toujours *perpendiculaire*.

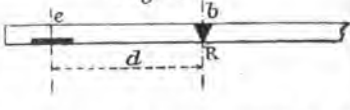
Une vis d'arrêt V permet de fixer EF sur AB dans une position quelconque.

Le zéro des divisions de EF se trouve à une distance δ de l'arête *ab* et le numérotage est symétrique par rapport à ce zéro.

Sur le trait CD se trouve en *t* le tourillon d'une règle *t*T à une distance *te* rigoureusement égale à δ ($te = \delta$). *ts* sera la *ligne des zéros* ou la ligne d'horizon exactement parallèle à *ab*.

Un fil très fin peut remplacer la règle *t*T.

Repère. — Nous avons donné le nom de repère au point fixe R *(fig. 46)* situé à une distance $eR = d$ de l'origine *e* des divisions de AB, *d* étant la distance focale de l'appareil. La position du point R variera donc avec l'instrument et nous conseillons d'indiquer ou de *régler le repère* de la façon suivante :



L'opérateur découpera un petit triangle de papier *b*R qu'il viendra coller sur l'épaisseur de la règle *(fig. 48)* de façon que la pointe R corresponde exactement à la division de *eb* exprimant *d* ($eR = d$).

Ainsi déterminé, ce point ne sera pas un arrêt pour le coulisseau EF, ce qui est essentiel.

Si on a toujours affaire au même appareil, de foyer constant, un simple trait peut indiquer R.

Échelles. — Il y a à considérer deux échelles :

1° L'échelle $\frac{1}{n}$ du rapport au plan qui, pour les études, est en général $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$ ou $\frac{1}{5000}$.

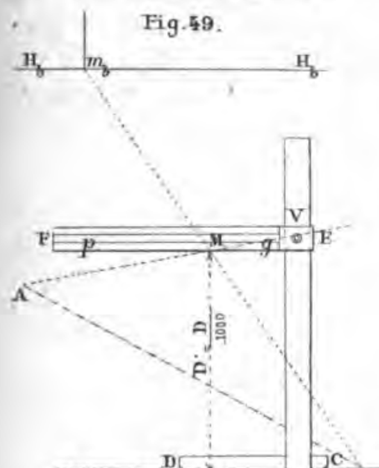
2° L'échelle $\frac{1}{m}$ de la règle sur laquelle on lit $h = \frac{H}{m}$

Usage de la règle

Supposons pour le moment le plan rapporté au $\frac{1}{1000}$ $(n = 1000)$ et prenons pour la règle la même échelle $(m = 1\,000)$.

Nous avons vu (p. 256, *fig. 46*) que nous devions placer le coulisseau de la règle à une distance de l'origine égale à $\frac{D}{1000}$, D étant la profondeur du point M que l'on considère, l'échelle de rapport du plan étant $\frac{1}{n} = \frac{1}{1\,000}$.

Le plan donnera de suite, en vraie grandeur, la distance à laquelle on doit placer le coulisseau.



Soit un point M (*fig. 49*) rapporté comme il a été dit (p. 230) au moyen de deux photographies H_bH_b, H_aH_a.

Par B, station d'où a été pris H_b H_b, menons BB' parallèle à H_b H_b.

MN perpendiculaire à BB' représente, comme on sait, la profondeur du point M à l'échelle du plan, c'est-à-dire au $\frac{1}{1\,000}$:

$$MN = D' = \frac{D}{1000}.$$

Donc si on vient appliquer la règle dans la position indiquée sur la figure 49 (où CD coïncide avec BB') et que l'on fixe le cou-

lisseau quand l'une de ses arêtes viendra affleurer le point M, on l'aura mise *mécaniquement* en place, évitant : *une lecture au décimètre sur le plan, ainsi qu'une autre lecture sur la règle* AB *pour amener le coulisseau au point voulu.*

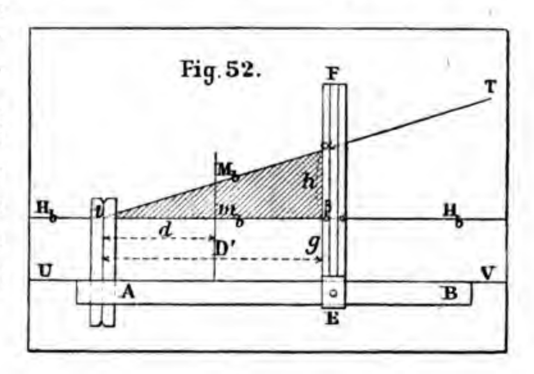
Comme il est essentiel que le repère R soit apparent, qu'il ne soit pas recouvert par la réglette EF, on a gradué les deux biseaux.

Les figures 50 et 51 montrent qu'en utilisant l'une ou l'autre des deux arêtes, on pourra toujours laisser R à découvert. Seulement il faudra lire $h = \frac{H}{1000}$ sur celle des arêtes que l'on a placée à l'affleurement de M et pour laquelle on a bien :

Fig. 50. Fig. 51.

$$D' = \frac{D}{1\,000}.$$

EF mis en place, nous n'avons plus qu'à porter la règle sur la photographie $H_b H_b$, de façon que *ts* coïncide avec la ligne d'horizon et que la verticale $M_b m_b m'_b$ du point M passe exactement par le point de repère R de la règle (*fig.* 52).



Dans ces conditions, si on fait pivoter la règle *t*T, ou que l'on tende le fil de façon que *t*T passe par M_b, on a vu (p. 256) que :

$$h = \alpha\beta = \frac{H}{1\,000}.$$

Remarque. — Suivant que M_b est au-dessus ou au-dessous de la ligne d'horizon, *h* sera positif ou négatif, et la cote du point M s'obtiendra en *ajoutant*, ou *retranchant*, H de C_B, cote du plan d'horizon à la station B, qui se compose elle-même de la cote (B_B) du terrain augmentée de la hauteur *l* de l'instrument au-dessus du piquet B; de sorte que C_M étant la cote du point M, on a :

$$C_M = C_B \pm H$$

avec

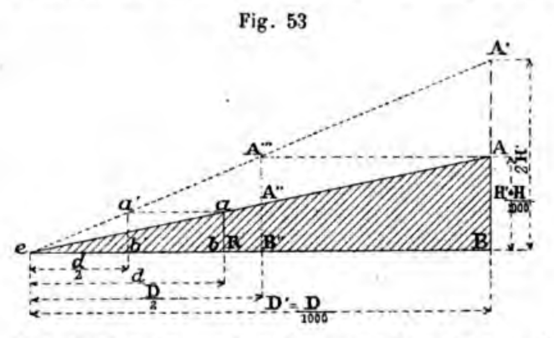
$$C_B = B + l.$$

Déplacement du repère. — Changement d'échelle de la règle Degré d'approximation

On doit faire ici une remarque intéressante au point de vue de l'application de la règle et de la précision presque indéfinie que l'on peut obtenir avec son emploi.

Si, au lieu de prendre $eR = d$ pour déterminer le repère, on prend une fraction de d, on ne fera que changer le rapport de

Fig. 53



similitude des triangles qui ont servi à notre raisonnement (p. 255 et suiv.).

1° Ainsi *(fig. 53)* si avec $D' = \frac{D}{1000}$ on prend $eR = d$ on est dans le cas où nous nous sommes placés et :

$$h = AB = \frac{H}{1000} \qquad \text{(tri. } eab, eAB)$$

2° Si au lieu de régler le repère avec d, on le règle avec

$$eR' = \frac{d}{2},$$

on constituera les triangles $ea'b'$, $eA'B$,

où
$$h' = A'B = 2AB = 2h = 2\left(\frac{H}{1000}\right).$$

Dans ce cas l'échelle de la règle est doublée ainsi que le degré d'approximation.

3° Si on réglait le repère avec $\frac{d}{4}$ $\left(eR'' = \frac{d}{4}\right)$ l'échelle de la règle ***serait quadruplée***, il en serait ***de même du degré d'approximation.***

En général, *si on règle* le repère R avec la distance $\frac{d}{k}$, ***l'échelle de la règle est rendue*** k ***fois plus grande et la précision est multipliée d'autant.***

On voit donc que, par le réglage de R, on est maître du degré d'approximation de la règle.

Influence de l'échelle $\frac{1}{n}$ du rapport au plan

Si, comme nous le conseillons, on place directement le coulisseau de la règle sur le plan afin d'éviter une double lecture (p. 258, *fig. 49*), l'échelle $\frac{1}{n}$ intervient forcément.

1° Nous avons examiné le cas où $n = 1{,}000$.

2° Soit l'échelle $\frac{1}{n} = \frac{1}{2000}$; dans ce cas, le plan donne et place le coulisseau à la distance : $MN = \frac{D}{2000} = \frac{D'}{2}$.

a) Si R est réglé avec d, AB est remplacé par A″B″ (triangles *aeb*, A″*e*B″) (*fig. 53*) et l'on a :

$$h'' = A''B'' = \frac{AB}{2} = \frac{h}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{H}{1000}\right).$$

L'échelle est *réduite de moitié* ainsi que le degré d'approximation.

b) Si R est réglé avec : $\frac{d}{2}$

$$h = A'''B''' = AB = h = \left(\frac{H}{1000}\right).$$

L'échelle n'est *ni diminuée, ni augmentée.*

c) Si R est réglé avec $\frac{d}{4}$, *l'échelle* et par suite le degré d'approximation seront *doublés.*

En général, *si* $\frac{1}{n}$ *est l'échelle du rapport du plan et que l'on place directement l'arête du coulisseau à la distance* $\left(\frac{D}{n}\right)$;

Si le repère est réglé avec la valeur $\frac{d}{k}$:

L'échelle, par suite l'approximation, de la règle sera : $\left(\frac{k}{n}\right)$.

On devra donc disposer de k et de n de la façon la plus avantageuse.

Voici, du reste, les différentes combinaisons pratiques que l'on peut adopter avec un appareil de distance focale égale à 0,20 *m* en considérant les échelles en usage pour les études $\left(\frac{1}{1000}, \frac{1}{2000}, \frac{1}{5000}\right)$.

La première colonne du tableau indique l'échelle de rapport du plan, $\frac{1}{n}$;

La seconde, la valeur de $e\text{R} = \dfrac{d}{k}$ qui a servi au réglage du repère R;

La quatrième, l'échelle $\left(\dfrac{k}{n}\right)$ de la règle : $h = \dfrac{k}{n} . \text{H}$;

La cinquième, la traduction linéaire de l'échelle : 1 *mm* p. 1 *m*, 2 *mm* p. 1 *m*.., etc.;

La sixième, l'erreur ou l'approximation sur laquelle on peut compter en supposant que l'on apprécie le quart de millimètre, ce qui est facile puisque la règle EF est divisée en demi-millimètres.

TABLEAU DES COMBINAISONS DE k ET DE n AVEC $d = 0{,}200\ m$

	ÉCHELLE du PLAN $\frac{1}{n}$	RÉGLAGE de R $e\text{R} = \frac{d}{k}$	VALEUR de D' $\text{D}' = \frac{\text{D}}{n}$	VALEUR de h (Échelle de la règle) $h = \frac{k}{n} \cdot \text{H}$	ÉCHELLE de la RÈGLE	APPROXIMATION en lisant à 1/4 de millimètre près
1°	»	$e\text{R} = d = 0{,}20\ m$	»	$h = \frac{\text{H}}{1\,000}$	1 *mm* pour 1 *m*	0,25 *m*
	$\frac{1}{1\,000}$	$e\text{R} = \frac{d}{2} = 0{,}10\ m$	$\text{D}' = \frac{\text{D}}{1\,000}$	$h = 2\left(\frac{\text{H}}{1\,000}\right)$	2 *mm* — 1 *m*	0,12 *m*
	»	$e\text{R} = \frac{d}{4} = 0{,}05\ m$	»	$h = 4\left(\frac{\text{H}}{1\,000}\right)$	4 *mm* — 1 *m*	0,06 *m*
2°	»	$e\text{R} = d = 0{,}20\ m$	»	$h = \frac{1}{2}\left(\frac{\text{H}}{1\,000}\right)$	$\frac{1}{2}$ *mm* pour 1 *m*	0,50 *m*
	$\frac{1}{2\,000}$	$e\text{R} = \frac{d}{2} = 0{,}10\ m$	$\text{D}' = \frac{\text{D}}{2\,000}$	$h = \frac{\text{H}}{1\,000}$	1 *mm* — 1 *m*	0,25 *m*
	»	$e\text{R} = \frac{d}{4} = 0{,}05\ m$	»	$h = 2.\left(\frac{\text{H}}{1\,000}\right)$	2 *mm* — 1 *m*	0,12 *m*
3°	»	$e\text{R} = d = 0{,}20\ m$	»	$h = \frac{\text{H}}{5\,000}$	1 *mm* pour 5 *m*	1,25 *m*
	»	$e\text{R} = \frac{d}{2} = 0{,}10\ m$	»	$h = 2\left(\frac{\text{H}}{5\,000}\right)$	2 *mm* — 5 *m*	0,62 *m*
	$\frac{1}{5\,000}$	$e\text{R} = \frac{d}{5} = 0{,}04\ m$	$\text{D}' = \frac{\text{D}}{5\,000}$	$h = \frac{\text{H}}{1\,000}$	1 *mm* — 1 *m*	0,25 *m*
	»	$e\text{R} = \frac{d}{10} = 0{,}02\ m$	»	$h = 2.\left(\frac{\text{H}}{1\,000}\right)$	2 *mm* — 1 *m*	0,12 *m*

Remarque. — Si on veut utiliser la graduation de *ab* et prendre chaque fois $D' = \frac{D}{1\,000}$, quelle que soit l'échelle $\frac{1}{n}$ du plan, on sera toujours dans les conditions du premier cas.

Enfin, remarquons que plus d sera grand, plus $\frac{d}{k}$ le sera et plus éloignés seront les points t, M_b *(fig. 52)*; ce qui est une bonne condition pour la détermination de la droite tM_bT.

Nous avons déjà remarqué que plus d était grand, plus l'était la perspective h d'une verticale H $\left(h = d.\frac{H}{D}\right)$, ce qui fait double raison pour préférer les objectifs à long foyer.

Addition. — On peut encore, pour plus de précision, faire conduire par la règle T*t* *(fig. 47)* un vernier au $\frac{1}{10}$ se mouvant sur la réglette EF et dont le zéro soit toujours sur l'arête T*t* qui passe par le point. On aura ainsi pour les lectures une plus grande approximation et au lieu de 1/4 de millimètres que nous avons supposé pour établir le tableau de la page 262, ce sera le 1/10 de millimètres; en le modifiant en ce sens on verra l'erreur sur laquelle on peut compter.

RÈGLE DE PROFONDEUR

Préliminaires.

Loi de réduction, en perspective, d'une verticale H qui se meut dans l'espace. — Tables

Si une verticale de longueur constante H se meut dans l'espace, ses perspectives h varient suivant une loi exprimée algébriquement par :

$$h = H\frac{d}{D}$$

dans laquelle : d = longueur focale de l'appareil; D, profondeur qui définit la position de H.

Supposons que nous prenions $\begin{cases} H = 5{,}00\ m \\ d = 0{,}20\ m \end{cases}$

on a : $H.d = 5 \times 0{,}2 = 1$

d'où $h = \frac{1}{D}$.

Donnons à D les valeurs successives 1, 2, 3..... 1 000, nous aurons pour *h* des valeurs correspondantes que nous inscrirons en face des valeurs de D qui leur ont donné naissance. Nous obtenons ainsi le tableau, dont nous ne donnons ici qu'un spécimen, qui se trouve calculé en entier dans notre brochure que nous avons déjà mentionnée ainsi que dans plusieurs aide-mémoire.

Tables des valeurs de $Y = \frac{1}{D}$ *quand D varie de mètre en mètre de 0 m à 1 000 m.*

SPÉCIMEN		SPÉCIMEN	
D en mètres	$Y = \frac{1}{D}$ en millimètres	D en mètres	$Y = \frac{1}{D}$ en millimètres
0	∞	0	∞
1 *m*	1000 *mm*	100 *m*	10 *mm*
2	500 *mm*	101	9,90
....	....	102	9,80
....	....	....	....
20 *m*	50 *mm*	....	....
21	47,6	150 *m*	6,67
....	....	....	....
....	....	200 *m*	5 *mm*
50 *m*	20 *mm*	....	....
51	19,61	....	....
52	19,23	500 *m*	2 *mm*
....	....	....	....
....	....	....	....
....	....	1 000 *m*	
....	....		

Loi de réduction, en perspective, des lignes de profondeur

Règle de profondeur

Si on divise une ligne de profondeur, c'est-à-dire une perpendiculaire au plan du tableau, en parties égales, les perspectives de ces segments égaux seront réduites inégalement suivant une loi que nous allons indiquer.

1° *Construction graphique de la règle de profondeur.*

Considérons les deux photographies *aa*, *bb* mises en place (*fig. 54*).

Soit un point M qui figure sur les deux perspectives et dont la position en plan est donnée par la méthode des intersections.

Supposons une verticale EF, d'une longueur égale à 5 *m* (EF = 5 *m*). Dans le mouvement que nous donnerons à EF, nous supposerons que son pied F reste dans le plan d'horizon et que l'autre extrémité E soit au-dessous de ce plan.

Soient *ef*, *ef*, les perspectives de cette mire, sur l'une et l'autre photographie, pour une position déterminée.

Soit E la position en plan, obtenue par intersection, de la mire EF.

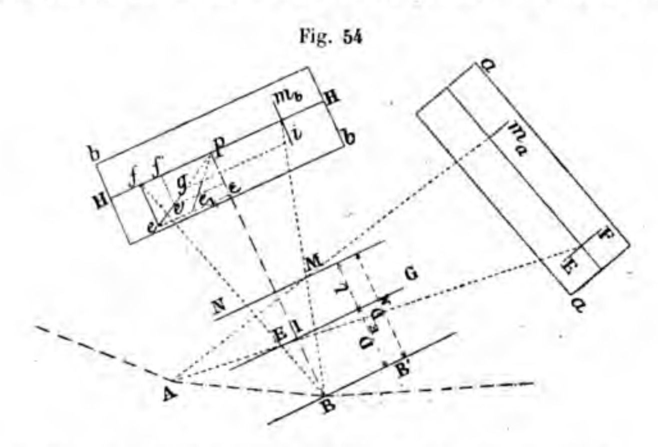
Les plans de front des points M, E, B sont déterminés par les droites MN, EG, BB′ parallèles à la ligne d'horizon HH de *bb*.

Les profondeurs de ces plans sont D_M, D_E.

La différence de profondeur de M et de E : $l = D_M - D_E$.

La différence de niveau des deux points M et E est donnée

Fig. 54



par la distance verticale qui sépare les deux plans horizontaux passant par ces points.

Cette distance est mesurée par $m_b i$ — (*si* i *est l'intersection du plan horizontal de* E *avec la verticale de* M), $m_b i$ étant réduit à l'échelle du plan de front de M, c'est-à-dire $\left(\frac{d}{D_M}\right)$.

p étant le point principal,

pe sera une ligne de profondeur.

Si partant de e et cheminant sur ep d'une quantité eg, mesurant en perspective la longueur l, nous atteindrons le plan de front de M qui est séparé du précédent justement de cette longueur l.

Si donc ep était gradué perspectivement de mètre en mètre, rien ne serait plus facile que d'y apprécier l, puis de mener, dans le plan de front de M, l'horizontale de front gi qui rencontrera en i la verticale de M.

Ce qui permettrait aussi de résoudre le problème plus général :

Trouver les intersections successives du plan horizontal passant par E *avec les différents plans de front.*

On est donc amené ainsi à :

Diviser pe **perspectivement** *de mètre en mètre.*

Supposons en premier lieu que la mire EF (H = 5 m) ait été placée dans un plan de front de profondeur D_E,

$$D_E = 40\ m$$

et que l'on ait photographié avec un appareil dont la longueur focale est d ($d = 0{,}20\ m$), on a :

$$h = ef = \frac{5 \times 0{,}20}{40} = 0{,}025\ m. \quad (Fig.\ 54.)$$

Calculons ce que devient la perspective h' quand la mire, dont le pied restant sur pe, se transporte à 10 m plus en profondeur, c'est-à-dire quand sa profondeur est devenue $D_E = 40m + 10m = 50m$,

$$h' = \frac{5 \times 0{,}20}{50} = 0{,}020\ m$$

et plaçons cette image sur la photographie.

Dans ce mouvement, les extrémités de la mire, conservant les mêmes niveaux, sont restées sur les lignes de profondeur pf, pe ; il suffit donc de prendre $e'f' = h' = 0{,}020$ pour avoir la nouvelle perspective de la mire, dont ee' mesure le déplacement, c'est-à-dire 10 m.

Si on divise ee' perspectivement en dix parties égales — ce que l'on sait faire, — on aura gradué eg de mètre en mètre de 40 à 50.

Après avoir déterminé e, e' (*fig. 55*) (points 40 et 50), on mènera par e' une parallèle gK à HH' sur laquelle on *prendra dix divisions quelconques, mais égales entre elles;* on joindra e au point 10 jusqu'en f que l'on réunira aux points 1, 2, 3... 9, ce qui donnera sur ee' les divisions 41, 42... 49 m. On complétera les divisions

en continuant à porter sur gK, à droite et à gauche, la longueur arbitraire que l'on a choisie et achevant la construction.

Si on avait considéré une autre position e_1, du pied de la mire dans le même plan de front e, on aurait à diviser perspectivement la base $e_1e'_1$, en dix parties égales ; il est facile de voir que les *divisions correspondantes* de ee', $e_1e'_1$ *sont sur des droites parallèles à* HH ; cela résulte des propriétés des plans de front :

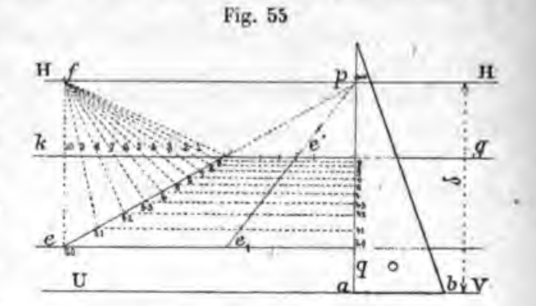


Fig. 55

Ce que l'on traduit en disant que tous *les points correspondants des segments de même niveau, tel que* pe, *ont même projection sur la droite* pq, droite qui correspond à la perspective de la mire quand celle-ci est dans la direction du rayon principal.

Si on trace ces dernières divisions sur une règle métallique ou simplement sur une bande de papier, on constitue la *règle de profondeur* qui permet de mener des horizontales de même niveau que le point E dans les différents plans de front, et d'avoir ainsi, sans construction, la différence de niveau m_0i *(fig. 54)* des points M, E à l'échelle du plan de front M. $\left(\frac{d}{D_M}\right)$.

Soient, par exemple, $D_E = 40$ la profondeur du point E, $D_M = 55$ celle du point M. Si on fait glisser jusqu'en M la règle *pq (fig. 54* et *55)*, en la maintenant de façon que *sa division 40 coïncide toujours avec la ligne* ee, *et que sa direction reste perpendiculaire à* HH, il suffira de marquer le point i où tombe la division 55 pour avoir le point de rencontre de l'horizontale de même cote que E avec la verticale de M. La longueur m_0i donne, *à l'échelle du plan de front de* M, $\left(\frac{0,20}{55}\right)$, *la différence de niveau entre* M *et* E.

Horizontale repère

Faire coïncider une division fixe de la règle avec la parallèle correspondante s'appelle : *repérer la règle*. Pour repérer la règle, on tracera, au moyen de tables, l'une des horizontales (pour $D = 50\ m$, $y = 20\ mm$) *(fig. 55)*. On viendra appliquer la règle en mettant en coïncidence les divisions 50 : la ligne ab sera l'*horizontale repère*.

Elle est à une distance ε de HH; on mesurera une fois pour toutes cette distance qui servira, pour chaque photographie, à tracer immédiatement la ligne UV.

2° Détermination, par le calcul, des divisions de la règle de profondeur

On doit remarquer que *(fig. 54)* :

$$p\varepsilon = ef = h$$

$$p\varepsilon = \frac{H \times d}{D}$$

et qu'en se plaçant dans le cas où $H = 5\ m$, $d = 0{,}20$,

$$p\varepsilon = \frac{1}{D}$$

c'est-à-dire que les points de division, comptés à partir de p, seront donnés par le tableau de la page 264, donc :

La loi de réduction des lignes de profondeur, aussi bien que celle des perspectives, est représentée par :

$$yD = 1 \quad (p\varepsilon = y),$$

c'est-à-dire, par une hyperbole équilatère dont les asymptotes sont les axes de coordonnées et que l'on construit facilement point par point en se servant du tableau de la page 264, $y = \frac{1}{D}$.

Généralité de la règle

Soit que la règle de profondeur ait été construite géométriquement, soit qu'elle ait été calculée par la formule :

$$p\varepsilon = y = \frac{1}{D},$$

on s'est placé dans le cas où :

$$H = 5\ m, \quad d = 0{,}20\ m$$

afin d'avoir : $H \times d = 1.$

Si on emploie un appareil photographique dont la longueur focale soit d', il faudra se servir d'une mire de longueur $H' = \frac{1}{d'}$ de façon à avoir encore : $H'd' = 1$, qui est la *condition essentielle*, pour que $\left(\frac{Hd}{D}\right) = \left(\frac{H'd'}{D}\right) = \frac{1}{D} = y$.

Exemple : si $d' = 0{,}180\ m$, $H' = 5{,}55\ m$.

Remarque. — On verra que cette mire n'intervient dans nos lectures et dans nos constructions graphiques que par ses perspectives, qui *servent d'étalons ;* elle ne figure pas sur les photographies ; en un mot, elle est *fictive.*

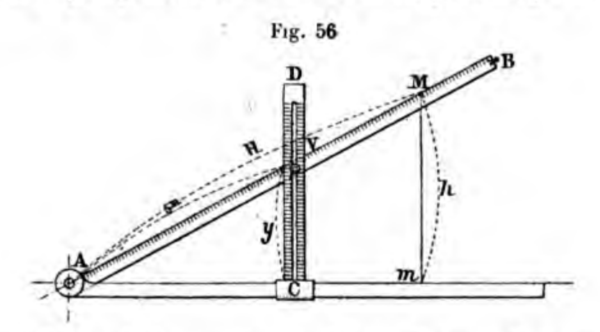
Autres règles hypsométriques.

Deuxième solution.

Soit M la perspective *(fig. 57)* photographique d'un point dont la profondeur est D.

$Mm = h$ la perspective de sa hauteur H qu'il s'agit de trouver.

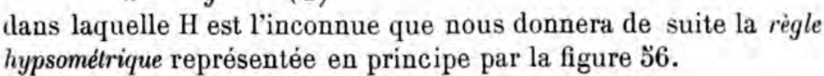
Fig. 56



Si $d = 0{,}20$ est la longueur focale de l'appareil avec lequel on a photographié, la longueur λ de la mire fictive que nous avons considérée sera $\lambda = 5\,m$ $(\lambda d = 1)$ et si cette mire, supposée dans le même plan *(fig. 56)* de front que M, avait été photographiée, sa perspective eût été y, dont la valeur $y = \frac{1}{D}$ est donnée par les tables.

Fig. 57

On a : $\frac{H}{h} = \frac{5m}{y} = \left(\frac{D}{d}\right)$



dans laquelle H est l'inconnue que nous donnera de suite la *règle hypsométrique* représentée en principe par la figure 56.

AB est une règle divisée tournant autour de A.

CD une réglette également divisée coulissant sur AC en lui restant toujours perpendiculaire.

V un tourillon avec vis de serrage. Ce tourillon fixe est placé à une distance telle que : $AV = 5\,m$ à *l'échelle de la règle.*

On lit y dans les tables; on amène le bord de AB à coïncider avec la division y de CD et l'on fixe au moyen de la vis V.

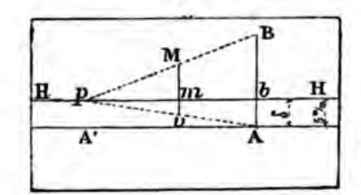
On applique ensuite l'instrument de façon que l'arête AC restant sur la ligne d'horizon, l'arête AB passe par le point M. Dans cette position on lira AM qui n'est autre que H, car on a :

$$\frac{AM}{h} = \frac{5\,m}{y}.$$

Troisième solution : Construction graphique.

Supposons, pour fixer les idées, la longueur focale $d = 0{,}20\,m$, la mire fictive aura alors une longueur $\lambda = 5\,m$ $(\lambda d = 1)$.

Fig. 58



Menons au-dessous de HH' (*fig. 58*) AA' parallèle à une distance

$$\delta = \frac{\lambda}{1\,000} = 5\,mm.$$

Soit M un point sur la photographie. Ce point a une profondeur D que l'on mesurera sur le plan. (*Planimétrie*, page 230.)

Dans ce plan de front D, une verticale égale à $\lambda = 5\,m$ donne une perspective dont la valeur, inscrite au tableau (p. 264) est y. Portons cette valeur en mV :

$$mV = \lambda\left(\frac{0{,}20}{D}\right) = \left(y = \frac{1}{D}\right).$$

Menons la ligne de profondeur pV jusqu'à sa rencontre A avec la parallèle AA' ainsi que les lignes AB, PMB.

Je dis que : $Bb = \frac{H}{1000}$

Car on a :

$$Bb = Ab.\,\frac{Mm}{mV}$$

avec

$$\left\{\begin{aligned} mV &= \lambda\,.\,\frac{d}{D} \\ Mm &= H\,.\,\frac{d}{D} \\ Ab &= \frac{\lambda}{1000} \end{aligned}\right.$$

d'ou

$$Bb = \frac{\lambda}{1000}\cdot\left(\frac{H}{\lambda}\right) = \frac{H}{1000}.$$

On voit qu'au lieu de $Ab = \frac{\lambda}{1\,000} = 5\ mm$ on aurait pu prendre $Ab' = \frac{\lambda}{100} = 0{,}05\ m$ et on eût trouvé :

$$B'b = \frac{H}{100}$$

c'est-à-dire une approximation dix fois plus grande.

Cette solution n'exige *aucun instrument*.

On voit de suite quelle modification il faut apporter au tracé dans le cas où $d = 0{,}20\ m$.

Si, par exemple, $d = 0{,}18\ m$, on a :

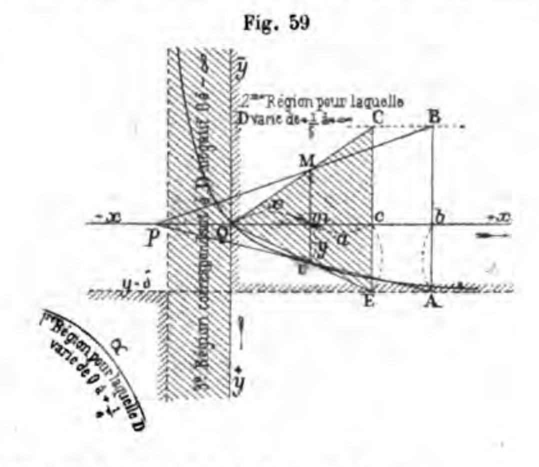
Hauteur de la mire fictive . . . . . . $\lambda = \frac{1}{d} = \frac{1}{0{,}18} = 5{,}55\ m$

Distance de la parallèle AA′ . . . . . $\delta = \frac{\lambda}{1\,000} = 5{,}55\ mm.$

Quatrième solution : Règle hypsométrique.
(Modèle n° 2.)

Remarque. — *Tout point* Q *de la ligne d'horizon* (fig. 59) *peut remplacer le point principal* P *dans la construction précédente.*

Fig. 59



Car cE étant toujours égale à $bA = cE$

$$cC = bB = \frac{H}{1000}.$$

Posons : $mQ = x, \quad mc = a, \quad bA = cE = \delta = \frac{\lambda}{1000}$

les triangles hachés de la figure donnent :

$$\frac{x}{y} = \frac{x + a}{\varepsilon}$$

d'où :

$$x = \frac{ay}{\varepsilon - y};$$

mais comme nous avons toujours $y = \frac{1}{D}$.

$$x = \frac{a}{\varepsilon D - 1}.$$

Si donc on prend pour a une *valeur constante*, à toute valeur de D *correspondra* pour x *une valeur déterminée;* on pourra même construire un tableau de ces valeurs x en faisant D successivement égal à 1, 2, 3... 1 000 comme il a été fait (page 264). Mais si a a été convenablement choisi ce même tableau donne de suite les valeurs de x.

CHOIX DE a.

En effet, λ, longueur de la mire fictive, répond à : $\lambda d = 1$ ou $\lambda = \frac{1}{d}$;

mais

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{1000} = \frac{1}{1000d},$$

la valeur de x devient donc :

$$x = \frac{a}{\varepsilon D - 1} = \frac{1\,000 . ad}{D - 1\,000d},$$

d étant donné en millimètres, 1 000 d est un *nombre entier* N.

D — N est donc un nombre entier ou peut être considéré comme tel : $D - N = n$:

$$x = \frac{1000 . ad}{n}$$

et si l'on pose $1000\,ad = 10$:

$$x = 10\left(\frac{1}{n}\right)$$

c'est-à-dire que les nombres du tableau de la page 264, multipliés par 10, donnent les valeurs de x corespondantes à D.

$1000 . ad = 10$ donne la valeur qu'il faut prendre pour a :

$$a = \frac{10}{1000d} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{d} = \frac{\lambda}{100}.$$

Dans l'exemple que nous avons couramment pris,

$$a = \frac{5}{100} = 0{,}050\,m \qquad a = 50\,mm.$$

Si d prend une autre valeur $d' = 0{,}18\,m$ la valeur à prendre pour a sera :

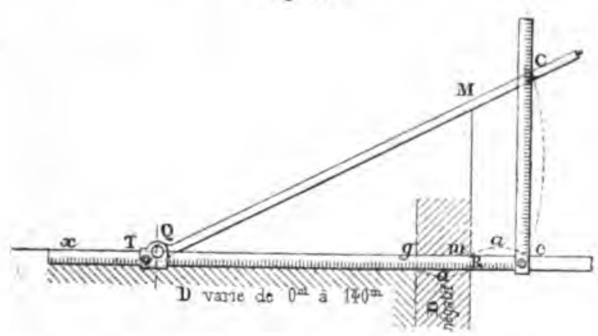
$$a = \frac{1}{100\,d} = \frac{1}{18} = 0{,}055\,m \quad (55\,mm).$$

Les tables conservent donc leur généralité.

Règle hypsométrique.

Ces remarques faites, nous avons construit le modèle nº 2 de la façon suivante (*fig. 60*) : Cc est une règle graduée en demi-milli-

Fig. 60



mètre fixée d'équerre sur cQx qui est également graduée et dont R est l'origine, c'est-à-dire le zéro.

On a pris pour fixer le pied c, une distance

$$Rc = a = \frac{1}{1000\ d} = \frac{\lambda}{100}.$$

Un étrier à vis permet de *régler* Cc *de façon que* Rc = a, *et que les tables puissent servir quel que soit* d.

A partir de R la règle est graduée à gauche.

S est un coulisseau avec vis d'arrêt T. Ce coulisseau porte l'axe Q de la règle QMC.

Q est disposé de telle sorte qu'il se trouve exactement à *l'intersection des arêtes* CM et *cx* des deux règles.

Voici comment on se servira de cette règle :

Ayant, par les tables, la valeur de x correspondant à la profondeur D d'un point considéré, on amènera Q, au moyen du coulis-

seau, à coïncider avec le même nombre de la règle; dans ces conditions,

$$RQ = x.$$

Si maintenant on applique l'arête cQ sur la ligne d'horizon HH de façon *que* R *coïncide* avec le *pied* m de la perpendiculaire Mm du point et que, dans cette position, on fasse pivoter la règle QC de façon que son arête *supérieure passe par* M, on aura reconstitué *automatiquement* les triangles hachés de la figure 59.

$$\begin{cases} QR = x \\ Rc = a \end{cases} \qquad \begin{aligned} MR \text{ ou } Mm &= Mm \\ Cc = Cc &= \frac{H}{1\,000} \end{aligned}$$

$$H = 1\,000\ Cc.$$

Discussion.

L'expression qui relie x et y est comme on l'a vu :

$$\frac{x}{y} = \frac{x + a}{\delta}$$

d'où l'équation : $$xy - \delta x + ay = 0$$

qui représente une hyperbole équilatère (*fig. 59*) passant par l'origine et ayant pour asymptotes les parallèles $y = b$, $x = -a$ aux axes.

Or, x, avons-nous vu (p. 272), peut se mettre sous la forme :

$$x = \frac{a}{\delta D - 1}$$

qui montre que :

1° $\begin{cases} D \text{ variant de } 0 \text{ à } \dfrac{1}{\delta} \\ x \text{ varie de } -a \text{ à } -\infty. \end{cases}$

C'est ce qui représente l'arc α de l'hyperbole et qui montre en outre que la partie gx (*fig. 60*), ($Rg = a$), *indéfinitivement prolongée* sert pour les valeurs de x correspondant à D compris entre 0 et $\frac{1}{\delta}$, $\frac{1}{\delta} = \frac{1}{0{,}005} = 200\ m$.

2° $\begin{cases} D \text{ variant de } \dfrac{1}{\delta} \text{ à } +\infty \\ x \text{ varie de } +\infty \text{ à } 0. \end{cases}$

Cette variation est représentée par la portion QU (*fig. 59*), c'est-

à-dire que la partie RQ, *indéfiniment prolongée à droite*, sert aux valeurs de x correspondant à D compris entre $\frac{1}{\delta} = 200m$ et $+\infty$.

3° $\left\{\begin{array}{llll} \text{D négatif variant de} & 0 & \text{à} & -\infty \\ x \quad \text{varie de} & -a & \text{à} & 0, \end{array}\right.$

c'est-à-dire que la région comprise entre l'asymptote et l'axe des y (*fig. 59*) est donc réservée aux valeurs négatives de D qui, du reste, n'existent pas en photogrammétrie.

Comme on ne peut pas avoir une règle *indéfiniment prolongée* dans chacun des sens, on devra avoir recours à l'artifice suivant :

Si la plus grande valeur de x que l'on puisse lire à gauche sur Rx est 0,25 m, cette valeur limite correspondra à la valeur de D donnée par :

$$0{,}25 = \frac{0{,}05}{0{,}005\ \text{D} - 1}$$

$$\text{D} = 160 \text{ mètres},$$

et la partie de gauche servira pour D compris entre 0 et 160 m. Mais on peut toujours ramener D à être $\leqslant$ 160 en le divisant par un nombre entier, 2, 3 ou 4. On reviendra à la réalité en multipliant Cc par le même nombre qui a servi à diviser.

N. B. — La règle QC peut être remplacée par un fil fixé au point Q du coulisseau S.

Autre solution au moyen de la règle de profondeur.

Cette *solution* que l'on pourrait appeler 3[bis] à cause de son analogie avec la solution 2, utilise la règle de profondeur.

Soient sur une photographie :

HH, la ligne d'horizon (*fig. 61*);

p, le point principal;

M, un point dont on veut la hauteur au-dessous du plan d'horizon.

Fig. 61

Nous supposerons

$d = 0{,}20, \lambda d = 1, \lambda = 5m,$

soit aussi D $= 55\,m$ la profondeur du point M. Traçons UV l'horizontale repère (p.267) et appliquons la règle.

Si M, dont la profondeur est 55, *coïncidait avec la division 55 de la règle*, il est clair que sa *hauteur serait* $\lambda = 5\,m$. (Construction de la règle p. 265.)

En général, cela n'aura pas lieu et il faudra abaisser M en E pour le mettre dans le plan de niveau 5 *m*.

Menons les lignes de profondeur *p*M, *p*E. Le plan de front dont l'échelle de réduction $\frac{h}{H}$ est $\frac{1}{1000}$ a une profondeur D telle que :

$$\frac{h}{H} = \frac{0{,}20}{D} = \frac{1}{1\,000}$$

$$D = 200\ m.$$

Il est facile de mener, avec la règle, l'horizontale (*e*, 200) de même niveau que E, *dans ce plan de front*.

Pour ce plan de front 200, les verticales (ou perspectives des hauteurs) *mn*, *ne* sont réduites au $\frac{1}{1000}$ et on a :

$$H = 1000\ mn.$$

On voit de suite l'analogie de cette méthode avec la solution 3 :

$$\begin{cases} NE = y, & \text{des tables,} \\ ne = \dfrac{5}{1\,000} = 5\,mm & (ne \text{ la parallèle AA}' \text{ (fig. 58)}), \end{cases}$$

mais le raisonnement qui y conduit est un peu différent; nous avons cru intéressant de le faire connaître.

CONCLUSION

Le lecteur qui aura étudié ce mémoire aura remarqué que la photogrammétrie est une science qui n'exige que des connaissances élémentaires de géométrie.

Pour notre exposé, nous n'avons eu à rappeler que les premières définitions de la perspective, encore n'avons-nous pas parlé de toutes celles que l'on rencontre aux premières pages des traités.

Mais il est bien évident que les photographies utilisées étant des perspectives, tous les problèmes traités dans les livres spéciaux intéressent ces photographies.

Le problème de planimétrie est, en photogrammétrie, exactement le même que celui connu en topographie sous le nom de *relevé à la planchette*, avec cette différence qu'au lieu d'opérer sur le terrain naturel on le fait sur les images photographiques et c'est au bureau que se fait le rapport.

Quant au problème d'altimétrie nous avons pu, avec des instruments très simples, donner une solution mécanique dont la

précision ne le cède pas au calcul et qui l'emporte par la rapidité et le peu d'effort qu'elle demande au dessinateur.

Pour l'optique photographique, ce que nous avons dit suffit pour faire connaître les conditions qu'un bon objectif doit remplir et faire concevoir que sa construction nécessite de savants efforts, auxquels l'opérateur peut être étranger, dont il n'aura qu'à bénéficier, mais qu'il doit exiger.

La photogrammétrie est une science trop récente pour que l'on puisse avoir la prétention de donner les meilleures méthodes, d'indiquer le meilleur procédé opératoire ; il y a encore à chercher et à trouver. La technique photographique réalisera encore des progrès et en fera bénéficier la photogrammétrie. Dans ce sens, nous avons indiqué, *aux cheminements*, une méthode de *profils de front* dont la réussite dépend de la sensibilité des plaques et nous avons dit que, dès maintenant, avec les bonnes plaques, la méthode était applicable.

Mais, quoique nous ne voulions pas entrer dans le domaine de l'imagination, *peut-être* utilisera-t-on plus tard les différentes intensités d'éclairage des objets pour en apprécier l'éloignement. Un cylindre se représente sur une feuille plane par une série de teintes dégradées, qui fait naître un *sentiment d'éloignement différent* pour les génératrices.

L'œil perçoit donc bien la sensation de l'inégale distance des objets, mais n'est pas assez parfait pour établir une relation entre *l'intensité lumineuse des corps et leur distance.*

Arrivera-t-on à trouver des instruments qui perfectionnent l'œil et complètent cette sensation de l'éloignement en le mesurant.

Nous ne pouvons que répondre : « Espérons-le ». L'esprit humain a bien expliqué et tiré parti des phénomènes les plus mystérieux.

La lumière ne vient-elle pas de révéler ses secrets à l'un de nos savants, M. Lippmann, qui en a fixé photographiquement les couleurs primordiales ?

Se laissera-t-elle encore pénétrer et nous dira-t-elle le rapport qui existe entre la *distance d'un objet qui la reflète et son action sur la plaque sensible?*

Arrêtons-nous à cette pensée, à l'espérance de voir aboutir à des solutions qui laisseront dans l'oubli ce que nous connaissons actuellement et regardons le présent qui nous montre, qu'en l'état actuel, la photogrammétrie réalise un progrès sur les autres méthodes topographiques.

Exprimons le regret que ces méthodes soient si peu connues de nos compatriotes alors que c'est une science française : par *sa pratique* nous devrions être les premiers et nous sommes les derniers.

Déjà par la photogrammétrie, les Italiens ont relevé de grandes surfaces dans les Alpes (Paganini) et les Américains, sous la direction du major Deville, ont fait des relevés encore plus considérables dans les montagnes Rocheuses (six mille kilomètres carrés).

Et nous, qu'avons-nous à mettre en parallèle ?

Quelques kilomètres carrés.

Et pourtant une occasion s'est présentée et existe encore pour l'emploi d'un mode de relevé économique.

N'est-ce pas à cause de l'énormité de la dépense que la revision du cadastre est ajournée ?

Un milliard, a-t-on dit.

N'est-ce pas le moment de faire connaître, de vulgariser une méthode de planimétrie économique, rapide, ne détériorant pas la propriété ?

La revision du cadastre est fatale.

Il est reconnu que l'impôt foncier est réparti d'une façon malheureuse sur la population des campagnes : économistes et écrivains agricoles sont d'accord à ce sujet.

La valeur de la propriété foncière s'est considérablement modifiée depuis que le cadastre existe : tel terrain a augmenté de valeur alors que tel autre est déprécié ; les charges primitives n'en pèsent pas moins sur chacun d'eux et rendent injuste la répartition.

Le plan cadastral devient, de ce fait, une source de vexations et sa revision est très vivement réclamée par nos populations des campagnes. Il devient indispensable d'exécuter cette réforme.

En 1828, un éminent officier du génie piémontais, *Porro*, inventait le tachéomètre qui s'est généralisé dans les travaux que le génie civil entreprend ou dirige et qui rend d'immenses services.

Quand le photogrammètre aura pris l'extension à laquelle il a droit, quand la pléiade des excellents opérateurs se sera mise à la manipulation du nouvel instrument, alors l'ingénieur, tout en conservant la mémoire de l'*auteur* de l'instrument délaissé, tournera, cette fois, sa reconnaissance et son souvenir vers un officier français, un savant qui honore notre Société, le colonel *Laussedat.*

ÉTUDE SUR L'EXPLOITATION

DU

MÉTROPOLITAIN DE BERLIN

PAR

M. P. HAAG

Ce n'est pas la première fois, Messieurs, que j'ai l'honneur de vous entretenir du Métropolitain de Berlin. Préoccupé depuis de longues années déjà par la question des transports urbains, j'ai eu l'occasion à plusieurs reprises de vous communiquer le résultat de mes travaux et l'intérêt bienveillant avec lequel ces communications ont toujours été accueillies m'engage aujourd'hui encore à vous apporter le résumé de mes plus récentes études.

A la séance du 6 mai 1892, après vous avoir présenté, dans une sorte de tableau comparatif, la situation des grandes cités — Paris, Londres, New-York, Berlin — où le problème des transports en commun a été agité ou partiellement résolu, je vous signalais comme particulièrement intéressante la solution réalisée dans cette dernière ville.

La *Stadtbahn* de Berlin mérite en effet à plus d'un titre d'être sérieusement étudiée.

D'abord, de tous les métropolitains existants, c'est celui dont la création est la plus récente et son projet a été élaboré en tenant judicieusement compte de ce qui avait été réalisé ou tenté à cette époque dans les autres capitales.

Ensuite, c'est la solution qui, jusqu'à présent, semble avoir le mieux réussi, du moins en Europe.

Enfin, et c'est là une observation que j'ai déjà faite ici même, et qui doit nous toucher tout particulièrement au point de vue parisien — le problème s'est posé à Berlin dans des conditions très semblables à celles dans lesquelles il se présente à Paris même.

Il suffit effectivement de jeter un coup d'œil comparatif sur les plans de Berlin et de Paris pour constater une similitude très frappante dans la direction des voies ferrées primitivement exis-

tantes, dans la position des gares terminus auxquelles elles aboutissent, dans le tracé de la ligne de Ceinture qui contourne la ville centrale. Et cette analogie se retrouve encore dans la situation respective des quartiers similaires et dans l'orientation des grands courants de circulation qu'un métropolitain est appelé à desservir.

L'expérience qui se poursuit à Berlin depuis douze années est donc fort instructive en elle-même et de nature à nous intéresser d'une façon toute spéciale. J'ajouterai que le moment semble opportun pour en étudier les progrès, car ce n'est guère qu'après une dizaine d'années d'exploitation qu'on peut juger sérieusement une œuvre de cette importance, constater les services qu'elle rend et apprécier l'influence qu'elle exerce.

Ces considérations m'ont engagé à publier une étude détaillée, sorte de monographie de la Stadtbahn berlinoise, où après avoir rappelé sommairement ses origines et sa création, je montrerai les développements successifs de son exploitation depuis son ouverture jusqu'à ce jour. Ce travail paraîtra prochainement dans la *Revue des chemins de fer* et je me ferai un plaisir d'en remettre un certain nombre d'exemplaires au Secrétariat de votre Société afin qu'ils soient distribués à ceux d'entre vous que la question intéresse. Vous y verrez reproduits et très complétés tous les documents qui ont déjà figuré dans mes communications précédentes et si quelques inexactitudes de détail s'y trouvent rectifiées, grâce aux renseignements plus détaillés que j'ai pu me procurer depuis lors, les conclusions générales auxquelles j'étais parvenu, ne s'en trouveront nullement modifiées.

L'annonce de cette publication me dispense de fatiguer aujourd'hui votre attention par la lecture toujours fastidieuse d'un grand nombre de chiffres et je me bornerai à vous présenter dans cette séance quelques graphiques qui parleront mieux à vos yeux et vous donneront une idée générale bien plus nette de l'ensemble des résultats que je crois intéressant de vous signaler *(Pl. 117)*.

Vous savez, Messieurs, que le réseau urbain de Berlin s'est trouvé constitué par une ligne de Ceinture, très analogue à la nôtre, la *Ringbahn*, et par une ligne diamétrale, la *Stadtbahn* en viaduc et à quadruple voie, qui traverse la ville de l'ouest à l'est, en passant par son centre *(fig. 1)*.

Je vous rappellerai en quelques mots que le service de la Stadtbahn comporte :

1° Un *service urbain* assuré par des trains parcourant, les uns la Stadtbahn et le circuit nord de la Ceinture, les autres la Stadtbahn et le circuit sud ;

2° Un *service de banlieue* réalisé généralement par des trains qui, venant d'une banlieue-est se dirigent vers une banlieue-ouest en traversant la Stadtbahn et *vice versâ ;*

3° Un *service de grandes lignes* résultant du passage par la Stadtbahn de trains de grandes lignes dont le point de départ et d'arrivée a été reporté à l'extrémité du viaduc métropolitain opposée à leur direction.

Un premier couple de voies est affecté au service urbain et à quelques trains de petite banlieue.

Un second couple est réservé aux trains de banlieue et de grandes lignes : ces trains n'ont d'arrêts qu'aux stations principales de la Stadtbahn.

Le premier des graphiques que je mets sous vos yeux *(fig. 2)* représente le développement du *Trafic-voyageurs* sur le réseau urbain depuis l'exercice 1884-85 jusqu'à l'exercice 1891-92 (les exercices sont comptés à partir du 1er avril de chaque année).

La courbe inférieure représente le nombre des billets annuellement délivrés et donnant droit à un parcours quelconque sur le réseau, la courbe supérieure figure le nombre approximatif des voyageurs transportés : ces derniers chiffres ont été obtenus en tenant compte des trajets multiples qui correspondent aux aller et retour, aux billets ouvriers et aux cartes d'abonnement, d'année en année plus nombreuses.

Le mouvement de 57 millions de voyageurs réalisé pendant l'exercice 1891-92 est considérable, eu égard à la population de Berlin, qui n'était que 1 600 000 âmes à la même époque : il correspond à une moyenne de plus de 35 voyages par habitant, tandis que l'*Underground* de Londres, si vous voulez bien vous reporter à ma communication du 6 mai 1892, avec un mouvement variant entre 120 et 130 millions pour une population de 4 750 000 âmes, donne moins de 27 voyages par habitant. Mais il y a plus : tandis que le chiffre de Londres reste à peu près stationnaire (124, 116, 118, 119, 123, 129 millions pendant la période 1886 à 1891), celui de Berlin va en croissant d'une manière absolument continue et qui semble même s'accélérer.

Le second graphique *(fig. 3)* vous montre comment ce mouvement de voyageurs se répartit entre les trois services précédemdemment mentionnés. Vous constaterez que le nombre des voyageurs urbains l'emporte de beaucoup sur celui des voyageurs appartenant aux deux autes catégories. Il constitue à lui seul près de 80 0/0 du chiffre total. Les banlieues viennent en seconde ligne avec une proportion de 15 0/0 environ. Enfin les grandes lignes représentent 5 0/0 seulement de l'ensemble du trafic et ont des accroissements beaucoup plus faibles.

Ces faibles accroissements constatés pour les voyageurs de grandes lignes s'expliquent assez facilement.

D'abord, ainsi que je le rappelais tout à l'heure, deux mêmes voies étant affectées aux services de grandes lignes et de banlieue, par suite du développement considérable des services de banlieue provoqué par l'ouverture de la Stadtbahn, on s'est vu forcé, pour éviter l'encombrement, de reporter à leurs anciens terminus les points d'arrivée et de départ d'un certain nombre de trains de grandes lignes (ligne de Hambourg reportée à la gare de Lehrte, ligne de Magdebourg reportée à la gare de Potsdam).

D'autre part, il est clair que si l'établissement d'un métropolitain peut créer pour ainsi dire d'un jour à l'autre un trafic urbain considérable, il ne peut agir qu'à la longue et fort lentement sur le développement du trafic des grandes lignes. Un voyageur qui a un véritable voyage à effectuer est bien forcé de subir les conditions de départ et d'arrivée qui lui sont faites et les commodités nouvelles qui peuvent résulter pour lui de la création d'un métropolitain ne le détermineront que peu à peu à multiplier ses voyages.

Mais ce serait tomber dans une grave erreur que de conclure des résultats précédents au peu d'importance des trafics de banlieue et de grandes lignes. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'en dehors de la recette qu'il apporte directement au métropolitain, chaque voyageur de banlieue ou de grande ligne représente encore une autre recette beaucoup plus importante en général et applicable au parcours qu'il effectue en dehors de la région urbaine.

Il n'est pas rare, par exemple, qu'un voyageur taxé à raison de 0,10 marc ou 0,15 marc pour son parcours métropolitain, rapporte 1 marc ou 1,50 marc à la ligne de banlieue sur laquelle il voyage ; à ce dernier point de vue en général, les voyageurs se classent précisément dans l'ordre inverse de leur importance nu-

mérique, en sorte qu'il s'établit ainsi entre les trois services une espèce de compensation qui tend à égaliser leur importance.

Le troisième graphique (*fig. 4*) permet de se rendre compte de la manière dont les accroissements du trafic-voyageurs se distribuent sur l'ensemble du réseau urbain. Sur un tracé symbolique figurant la Ceinture par un cercle et la Stadtbahn par un diamètre, on a placé les différentes stations à des distances qui répondent autant que possible à leurs espacements réels. Les ordonnées élevées en ces points représentent pour chaque station le chiffre des billets délivrés en 1884-85 et 1891-92. Mais en raison de l'intensité de circulation beaucoup plus grande sur l'artère transversale que sur la Ceinture, les ordonnées pour la ligne diamétrale (et pour la nouvelle gare de Potsdam-Ceinture directement reliée au réseau urbain) ont été réduites au cinquième.

Le nombre des voyageurs au départ d'une station étant généralement égal à celui des voyageurs à l'arrivée, on peut considérer les courbes de ce graphique comme figurant assez exactement le mouvement de chaque station.

On voit, à l'inspection de ce tableau, quelle influence considérable l'ouverture de la Stadtbahn a exercée sur le trafic de la ligne périphérique : le nombre total des billets délivrés sur cette ligne a passé de 1 608 000 (exercice 1884-85) à 8 654 000 (exercice 1891-92) (1), soit une augmentation de 440 0/0 en sept années.

C'est en raison de ce développement énorme de circulation et en prévision de l'avenir qu'on s'est décidé (ainsi que je vous l'annonçais dans ma note du 4 août dernier), à supprimer tous les passages à niveau de la Ceinture et à établir dès à présent la quadruple voie sur tout son parcours : ce travail est achevé à l'heure actuelle.

Les accroissements de circulation que nous venons de constater se sont trouvés d'ailleurs singulièrement favorisés par les nombreux abaissements de *tarifs* mentionnés déjà dans mes communications précédentes et qui ont rendu pour la population ouvrière de Berlin l'usage du métropolitain extrêmement économique.

Je ne puis entrer ici dans le détail des tarifs successivement

(1) Dans cette dernière évaluation, les stations de *Stralau-Rummelsburg*, *Warschauer-Strasse* et *Potsdamer-Bahnhof-Ringbahn* ont été considérées comme appartenant à la Ceinture, tandis que la station de *Westend*, au contraire, a été rattachée à la Stadtbahn.

adoptés, ni dans la description des dispositions qui ont été imaginées pour simplifier la composition des billets et pour rendre le contrôle facile, efficace et point vexatoire.

Je me bornerai à rappeler que, dans le service urbain, les tarifs actuels sont établis d'après le principe des zones et comportent pour chaque classe deux prix distincts applicables : le premier aux trajets ne dépassant pas cinq intervalles de stations, le second aux trajets supérieurs.

Les prix, très modiques, sont :

0,10 marc et 0,20 marc en 3me classe;
0,15 marc et 0,30 marc en seconde;

il n'y a pas, vous vous en souvenez, de 1re classe pour le service urbain.

Des abonnements mensuels correspondant aux mêmes zones sont délivrés depuis le 1er avril 1893 aux prix de :

3 marcs et 4,50 marcs en 3me classe;
4,50 marcs et 7 marcs en seconde.

Le rapport du prix entre les deux classes est établi comme on voit dans la proportion de 2 à 3, qui semble donner les meilleurs résultats.

Enfin, des billets-ouvriers de semaine, donnant droit à l'aller et retour journalier pendant les six jours de la semaine, sont délivrés au prix de 0,90 marc sur la Stadtbahn, soit à raison de 7 1/2 pfennigs (environ 0,10 *f*) par voyage.

Les billets simples sont valables pour toute l'année courante et depuis le 1er avril de l'an dernier ils ne portent plus le nom de la station qui les délivre et sont utilisables à partir d'une station quelconque du réseau urbain. L'indication de la station de départ résulte du poinçonnage effectué par l'employé qui contrôle le billet à l'accès du quai d'embarquement.

Sur les banlieues et sur les grandes lignes, des réductions très importantes ont été également consenties : sur les banlieues en particulier, elles atteignent et dépassent souvent 50 0/0 du tarif primitif.

Il est bien remarquable que, malgré ces abaissements de tarifs si importants, les *recettes brutes* n'aient cependant cessé de croître, ainsi qu'on peut le constater sur le quatrième graphique que je mets sous vos yeux (*fig.* 5) : la courbe inférieure représente les

recettes du trafic-voyageurs sur la *Stadtbahn (non compris la Ceinture)*. Ce résultat s'explique visiblement par ce fait que les abaissements de tarifs se sont trouvés plus que compensés dès le début de leur application par les accroissements de circulation qui en ont été la conséquence.

Au point de vue des *recettes nettes*, il n'en a pas été tout à fait de même.

L'augmentation considérable de la circulation a nécessité, on le conçoit, une augmentation très grande également dans les services de la traction et de l'exploitation en général.

Pour vous en donner une idée, je citerai seulement quelques chiffres :

Le nombre journalier des trains du service urbain, qui était en 1887 de :

306 en semaine et 340 les dimanches et fêtes,

s'est élevé, en 1892, à

434 en semaine et 484 les dimanches et fêtes.

Le nombre de machines-kilomètres annuellement effectué,

qui était de :	1 776 000 en 1884-85
et de	2 075 000 en 1886-87,
s'est élevé à	4 248 000 en 1892-93.

Les frais d'exploitation se sont largement ressentis de ces augmentations et l'on peut s'en rendre compte par la courbe supérieure du même graphique, qui figure les dépenses annuelles de personnel et d'entretien pour l'*ensemble du réseau urbain* et pour la période de 1883-84 à 1892-93.

Grâce à des renseignements très détaillés qui me sont tout récemment parvenus, je puis vous donner, pour l'*ensemble du réseau urbain* et pour l'exercice 1892-93, le total général des dépenses et des recettes :

Les recettes ont été de	10 782 000	marcs
et les dépenses se sont élevées à	9 456 000	—
D'où une recette nette de. . .	1 276 000	marcs

Ce résultat, au point de vue commercial, peut sembler médiocre, puisque le capital d'établissement (Stadtbahn et Ceinture) représente une dépense de 96 millions de marcs; mais il prouve seulement que l'État, en exploitant le réseau métropolitain de Berlin, n'a pas cherché à en faire une affaire.

Par des abaissements de tarifs qui atteignaient l'extrême limite du bon marché, il s'est préoccupé avant tout de donner une large satisfaction au public, et, comme je le faisais observer au sujet des gares de chemins de fer dans ma communication dernière, en agissant ainsi, il n'est pas sorti de son rôle naturel et a tenu compte des avantages indirects qu'une société privée ne peut prendre en considération, mais dont l'État, c'est-à-dire la collectivité des citoyens, bénéficie.

Parmi ces avantages, il en est d'ailleurs qui intéressent d'une façon assez immédiate les finances de l'État, je veux parler de l'accroissement de trafic considérable provoqué par l'ouverture de la Stadtbahn sur les réseaux de banlieue.

Enfin, et c'est là un point sur lequel il importe encore d'insister, tandis que les abaissements de tarifs ont atteint leur extrême limite, tandis que les dépenses d'exploitation ont subi pendant ces dernières années des accroissements brusques, mais qui doivent fatalement se ralentir, puisque l'intensité actuelle du service (trains toutes les 3 minutes) ne peut guère être dépassée, les chiffres des voyageurs transportés et des recettes brutes (comme le montrent bien les graphiques) *(fig. 2 et 5)* continuent à croître dans les plus fortes proportions. On peut donc prédire une recrudescence à peu près certaine de la recette nette pendant les prochains exercices et c'est là une prévision qu'il sera fort intéressant de vérifier.

Parmi les éléments de recettes, il en est un très important, d'autant plus important qu'il n'est grevé pour ainsi dire par aucuns frais d'exploitation, je veux parler des loyers des arcades.

Au début, on n'avait pas fait grand état du produit de ces locations : les arcades d'un accès souvent difficile se louaient assez péniblement et assez mal. Mais l'expérience a bientôt prouvé qu'on avait eu grand tort de négliger cet élément de recettes, et depuis lors l'ouverture de rues latérales au viaduc ayant mis partiellement en valeur une grande partie de ces locaux, le produit des locations n'a cessé de croître, comme l'indique le cinquième graphique *(fig. 6)*, et il dépasse actuellement déjà le chiffre de 588 000 marcs (soit près de 750 000 *f* par an).

J'ai déjà fait remarquer, dans ma communication du 6 mai 1892, que la création de la Stadtbahn n'avait ralenti en aucune façon le développement des autres moyens de transport. Il est intéressant

de constater qu'en particulier la Grande Compagnie des Tramways Berlinois, qui occupe à Berlin une situation à peu près analogue à celle de la Compagnie des Omnibus à Paris, a vu son trafic et ses recettes croitre d'une manière continue et extrêmement rapide, surtout pendant les années qui ont suivi l'ouverture de la Stadtbahn, ce résultat apparait clairement sur le sixième graphique *(fig. 7)*.

Un autre fait très important à signaler, c'est l'accroissement remarquable de la population dans toutes les localités desservies par la Ceinture ou par les lignes de banlieue. Le septième graphique *(fig. 8)* permet de se rendre compte de ces accroissements pour quelques localités : ***Friederichsberg*** et ***Rixdorf*** desservis par la Ceinture, et surtout ***Charlottenburg***, desservi directement par la Stadtbahn.

On doit observer d'ailleurs que si ces résultats dénotent une tendance marquée de la population à se porter vers les banlieues, ils ne correspondent pas cependant à une dépopulation du centre : la courbe supérieure du même graphique fait bien voir, en effet, que non seulement la population de la ville de Berlin elle-même n'a pas cessé de croitre, mais que sa marche ascendante semble s'être accélérée encore depuis l'ouverture de la Stadtbahn. Ainsi l'influence de la Stadtbahn a été manifestement un accroissement général de la population dans l'agglomération berlinoise, accroissement extrêmement marqué pour la périphérie et pour certaines banlieues, plus lent, mais incontestable pour la ville centrale.

Il est presque inutile d'ajouter que ces grands développements de population dans les banlieues ont été accompagnés par un mouvement de construction important et par une hausse très rapide dans la valeur du sol.

J'ai terminé, Messieurs, l'examen des points principaux de mon étude sur lesquels il m'a paru intéressant de fixer dès aujourd'hui votre attention. Mais après la constatation des résultats remarquables obtenus à Berlin, il est impossible de ne pas faire un retour sur nous-mêmes et de ne pas revenir en quelques mots sur la question métropolitaine parisienne.

Ce qui frappe d'abord dans la Stadtbahn, c'est l'idée simple qui a présidé à sa conception, le plan d'ensemble mûrement étudié et méthodiquement exécuté d'après lequel elle a été construite ;

en second lieu, c'est l'importance des services rendus au public, importance qui se mesure aux chiffres déjà si élevés, et constamment croissants du trafic; enfin, c'est l'influence particulièrement heureuse que sa création semble avoir exercée sur le développement de la ville.

A Paris, malheureusement, malgré les éléments de trafic bien plus considérables dont on dispose et qu'on laisse improductifs, la réalisation d'une solution aussi satisfaisante n'est guère à espérer.

J'ai longtemps combattu pour un projet auquel on a reproché d'être trop grandiose et que j'avais simplement cherché à rendre digne de notre grande et belle capitale, et je suis fort à mon aise pour en parler, car si j'ai souvent lutté pour des idées, je n'ai jamais défendu d'intérêts, en dehors, bien entendu, de ceux du public.

Ce projet, Messieurs, vous le connaissez : il consistait en somme à utiliser les ressources du métropolitain pour la réalisation d'une grande opération de voirie, ce qui n'était pas sans intérêt à un moment où la ville recule par économie devant les opérations les plus nécessaires, comme l'achèvement du boulevard Haussmann, par exemple : il consistait à créer, à l'occasion du métropolitain, un mouvement de travaux très important, ce qui n'était pas non plus à dédaigner dans les circonstances actuelles.

Malheureusement il nécessitait une entente entre les pouvoirs publics, l'administration municipale et les Compagnies et si les difficultés techniques et financières étaient faciles à résoudre, une entente de ce genre semble bien difficile, pour ne pas dire impossible à obtenir.

Dans les conditions présentes, avec les tiraillements de toute sorte entre intérêts divergents, en l'absence d'une direction forte et unique, capable d'imposer l'entente nécessaire et de faire taire les intérêts privés en présence de l'intérêt public, je reconnais qu'une solution de la nature de celle que je défendais est à peu près impraticable.

Hésitant à aborder franchement la question, à discuter librement et longuement un plan d'ensemble, on veut cependant donner à l'opinion publique un semblant de satisfaction. Dans ces conditions, un émiettement de la question était à prévoir et c'est cet émiettement dont nous pouvons suivre effectivement les progrès. A défaut d'un métropolitain complet, on offre au public des bouts, de tout petits bouts de métropolitain, sous la forme

de ces pénétrations individuelles des grandes lignes, dont le système semble aujourd'hui prévaloir, pénétrations vers je ne sais quel métropolitain central imaginaire, vers je ne sais quelles jonctions hypothétiques qu'on se garde de désigner clairement, n'osant préciser d'avance ni l'importance des difficultés matérielles auxquelles on se heurtera, ni l'énorme chiffre de dépenses qu'il faudra supporter pour exécuter ces bouts de lignes d'une si contestable utilité.

Je me souviens d'un mot célèbre attribué au baron Haussmann à propos des transformations de Paris : « Faisons d'abord l'inutile, aurait déclaré M. Haussmann, le nécessaire se fera toujours plus tard. » Conseil fort juste sous sa forme paradoxale. En effet, en construisant d'abord les voies les moins immédiatement utiles, comme celles de la plaine Monceau, par exemple, M. Haussmann pouvait compter que les voies centrales, comme l'avenue de l'Opéra qu'il se contentait d'amorcer, finiraient toujours par s'exécuter un jour ou l'autre, et il assurait ainsi dans l'avenir la réalisation complète de son vaste programme.

S'il en était des tronçons de lignes qu'on nous propose comme des boulevards excentriques du baron Haussmann, si c'étaient là les premières ramifications d'un réseau central bien étudié, j'applaudirais un des premiers à leur création. Malheureusement, il n'en est pas ainsi; et c'est au moment où l'on voit d'autres villes faire des sacrifices énormes pour rétablir après coup un peu d'unité dans des réseaux primitivement mal conçus, qu'on cherche à compromettre de gaieté de cœur, par la création d'un ensemble de lignes incohérentes, une situation qui avait, du moins jusqu'à présent, l'avantage d'être restée intacte. En vérité, en voyant gaspiller tant d'efforts et tant d'argent d'une façon si peu raisonnable, on serait tenté de se demander s'il n'y a pas quelque arrière-pensée, quelque parti pris d'obstruction dissimulé derrière des conceptions si peu justifiées et si peu logiques.

Je ne veux pas le croire; je veux attribuer simplement ce qui se fait à un défaut d'entente, à un manque de méthode dans les études et de coordination dans les idées.

Au moment où fut décidée l'an dernier l'Exposition de la fin du siècle, une occasion se présentait pour rétablir un peu d'ordre dans cette confusion. Des conférences eurent lieu effectivement à ce sujet, et la question semble avoir été discutée. Je ne suis nullement dans le secret des décisions qui ont été prises, mais il me semblerait difficile, étant donnée la persistance des causes, que

les effets pussent être modifiés, et j'incline à croire qu'à part quelques points de détail, on ne sortira guère actuellement de la voie dans laquelle on s'est fâcheusement engagé.

Voulez-vous me permettre de vous présenter encore quelques considérations générales, au sujet de l'Exposition et de la question des transports qui s'y rattache.

Un de mes très distingués collègues a dit, à propos de l'Exposition de 1900 : « Une fois la fête finie, il faut que le décor disparaisse. » Je suis parfaitement de son avis, et je trouve, en particulier, qu'on a obéi à une sentimentalité un peu puérile en hésitant à démolir, après 1889, les bâtiments du Champ de Mars qui répondaient fort bien à leur destination temporaire, mais qui, visiblement, n'avaient pas été édifiés pour l'éternité.

Cependant, si les bâtisses mêmes d'une exposition doivent, à mon avis, disparaître avec elle, il n'en est pas de même de certains résultats accessoires qui peuvent devenir par la suite un legs des plus précieux de cette exposition.

J'ai eu l'occasion, à propos des gares d'Allemagne, de vous faire remarquer combien l'établissement de ces gares, judicieusement associé au tracé de quartiers nouveaux, pouvait exercer une heureuse influence sur le développement des villes. Il en est certainement de même des expositions, et l'un des meilleurs résultats produits par celles qui se sont succédé au Champ de Mars, c'est assurément le développement de ces beaux quartiers, jadis presque inhabités, et qui bordent actuellement la Seine, du pont de l'Alma au pont de Passy, entre le Trocadéro et l'École Militaire.

Un autre résultat également heureux, c'est l'amélioration des moyens de transport, amélioration qui survit, en général, à l'exposition qui l'a provoquée.

Je ne m'exagère pas, loin de là, l'influence que peut avoir une exposition passagère sur un chemin de fer urbain, et je trouve même qu'on est enclin à la grossir singulièrement. Construire un métropolitain en vue d'une exposition, ce serait agir à la façon d'un propriétaire qui bâtirait sa maison en l'aménageant uniquement pour une fête qu'il devrait un jour y donner.

Mais une exposition peut provoquer et hâter la réalisation d'un réseau métropolitain ou du moins de certaines lignes de ce réseau spécialement propres à la desservir.

Dans l'espèce, ces lignes ne me semblent pas très nombreuses.

Les visiteurs de notre future Exposition peuvent se classer, en effet, en catégories d'importances numériques très diverses :

La première comprend les habitants du *centre* et est de beaucoup la plus nombreuse, car elle renferme, en dehors des Parisiens proprement dits, les étrangers et les provinciaux qui, séjournant temporairement à Paris, se logent généralement dans les quartiers centraux ;

Dans la seconde, je classerai les habitants des *quartiers excentriques ;*

Dans la troisième, enfin, ceux des *banlieues* assez voisines pour qu'il soit possible à leurs habitants de passer la journée au Champ de Mars et de regagner le soir leur domicile.

Pour les visiteurs du centre de Paris, je n'hésite pas à le dire, le chemin de fer proprement dit ne sera jamais d'un très grand secours ; les distances à parcourir sont relativement trop faibles et leurs directions trop variées. Il faudrait pour y satisfaire créer autour du Champ de Mars tout un système de lignes rayonnantes et l'établissement de pareilles lignes pour une utilisation d'aussi courte durée, serait, en raison de l'énorme dépense, une véritable folie. Des lignes de cette nature ne peuvent être raisonnablement construites qu'à titre temporaire et dans des conditions d'économie que permettrait d'obtenir l'occupation passagère, et par suite acceptable, de certaines voies publiques. Le Decauville de 1889 nous offre un type excellent de solution de ce genre. C'est par la multiplication de ces solutions, dont la variété même pourrait constituer un élément d'intérêt, qu'on résoudra, à mon avis, la question des transports pour les habitants du centre, en complétant utilement ainsi le service des omnibus, des tramways, des bateaux et des voitures de place.

Pour les habitants des quartiers excentriques, le chemin de fer de Ceinture et les bateaux-omnibus peuvent fournir la plus économique et la meilleure des solutions.

L'excellent service des bateaux-omnibus, qui est loin d'avoir atteint encore les limites de sa puissance de transport, offre au public, avec une vitesse très suffisante, des avantages d'économie et d'agrément qu'un autre moyen de locomotion pourra difficilement réaliser. Il desservira de la façon la plus satisfaisante tous les riverains de la Seine, ceux du centre comme ceux des quartiers plus lointains d'amont et d'aval.

Les régions des Batignolles, de la Villette et de Belleville au nord, de Montrouge et de Gentilly, au sud, pourront utiliser la

Ceinture soit pour atteindre la Seine et ses bateaux, soit pour se rendre directement au Champ de Mars.

Reste enfin la catégorie la moins nombreuse, celle des visiteurs habitant les banlieues.

Quelques-unes de ces banlieues, particulièrement favorisées, celles du Bas-Meudon, de Sèvres, de Saint-Cloud et de Suresnes, auront le choix pour se rendre au Champ de Mars entre la ligne des Moulineaux et les bateaux de Suresnes.

Pour les autres, desservies par les trains se dirigeant vers les gares terminus de Paris, la Ceinture sera encore un mode de transport très satisfaisant, à la condition qu'aux gares où ces lignes de banlieue rencontrent la Ceinture *(Batignolles, Nord-Ceinture, Est-Ceinture, Bel-Air, Bercy-Ceinture, Orléans-Ceinture, Sceaux-Ceinture, Ouest-Ceinture)*, à défaut de raccordement permettant aux trains d'arriver directement au Champ de Mars, des correspondances rapides et commodes soient établies.

Ainsi, en résumé, pour satisfaire aux besoins de transport considérables mais passagers que provoquera notre prochaine Exposition, il suffirait selon moi :

D'améliorer le service des voitures de place, surtout par l'introduction de tarifs spéciaux et réduits, applicables aux courts trajets à destination ou au départ de l'Exposition ;

D'améliorer le service des omnibus et tramways par l'établissement de lignes convergentes vers les Invalides et le Champ de Mars ;

De créer un certain nombre de moyens de transport mécaniques temporaires, analogues au Decauville de 1889;

De multiplier le nombre des bateaux-omnibus ;

D'améliorer enfin le service de la Ceinture, en créant des trains directs allant au Champ de Mars, en accélérant un peu leur marche, en facilitant les correspondances aux points de croisement avec les lignes de banlieue, en construisant enfin certains raccordements (à Bel-Air notamment) qui permettraient aux trains de banlieue correspondants d'accéder directement à l'Exposition par la Ceinture.

Si l'on voulait aller plus loin si, en dehors de ces améliorations qui seraient certainement déjà très efficaces, on voulait, en vue de l'Exposition, construire un véritable chemin de fer, tronçon d'un métropolitain définitif, je crois qu'il faudrait s'écarter résolument de la Seine, direction déjà bien desservie et se prêtant mieux que toute autre à l'établissement de ces moyens de trans-

ports mécaniques temporaires dont je parlais plus haut. Je recommanderais donc à l'attention des Ingénieurs une ligne dont j'ai déjà depuis longtemps fait l'étude, et qui reliant la gare Saint-Lazare à la gare Montparnasse par la Porte-Maillot, le Trocadéro et le Champ de Mars, irait chercher le trafic en des points très populeux de la rive droite et de la rive gauche, et trop éloignés du fleuve pour pouvoir profiter des facilités qu'il pourra offrir *(fig. 9.)* Cette ligne, dont le coût d'établissement n'atteindrait pas vingt millions, serait, à prix à peu près égal, incontestablement plus utile que le prolongement de la ligne des Moulineaux du Champ de Mars aux Invalides, et elle aurait l'avantage d'offrir, en dehors du mouvement passager de l'Exposition, des éléments de trafic assurés dans l'avenir (1).

Tel est, Messieurs, l'avis que je pourrais émettre au sujet des transports pour la prochaine Exposition.

Quant à la question générale, mon opinion peut se résumer en quelques mots.

Je pense que les pénétrations de lignes individuelles, exécutées sans plan d'ensemble, sont la plus déplorable, la plus improductive et la plus coûteuse des solutions.

Je puis faire bon marché de mon projet et de mes idées, bien que tous les documents nouveaux que je recueille leur apportent chaque jour une plus éclatante justification, mais je ne puis faire bon marché de la grandeur de Paris qui a le droit et le devoir de rester à la tête du progrès en toutes choses.

Qu'on présente une solution nouvelle, qu'on l'étudie, qu'on la discute au grand jour, qu'on en démontre les avantages et je m'y rallierai sans hésitation. Mais je ne puis admettre que nous soyons assez diminués pour accepter une œuvre mesquine et incohérente dont ne se contenterait pas à l'étranger une ville de troisième ordre, et plutôt que de travailler sans plan, à l'aveuglette, j'estime qu'il vaudrait mieux encore ne rien faire du tout.

(1) Qu'il me soit permis, au sujet de cette ligne, d'ajouter quelques mots de réponse à une objection que M. Charton m'a adressée au cours de la séance, en reprochant à ce tracé d'emprunter la section déjà très chargée de la Ceinture comprise entre Courcelles et la Porte-Maillot. Bien que les exemples de Londres et de Berlin nous montrent quelles intensités de circulation considérables on peut obtenir, grâce au bloc-system, sur un seul couple de voies avec *un trafic homogène*, j'ai prévu comme corollaire à la construction de la ligne Saint-Lazare-Montparnasse, l'établissement possible de la quadruple voie sur cette section de la ligne d'Auteuil.

NOTE

SUR

L'EXPOSITION D'ANVERS

PAR

M. F.-L. BARBIER

Généralités.

L'Exposition de 1894 est due à l'initiative privée. Elle fonctionne sous le couvert d'une Société anonyme qui conserve la responsabilité financière de l'entreprise ; néanmoins, le gouvernement belge l'a placée sous son patronage et a donné lui-même, aux puissances étrangères, notification de l'ouverture d'une Exposition internationale à Anvers, le 5 mai dernier.

Le Conseil d'administration de la Société a pour président le comte de Pret et pour secrétaire l'un de nos collègues, M. Béliard.

Un Comité exécutif a été constitué pour organiser et pour diriger l'Exposition, dont les plans ont été dressés par l'architecte Hasse.

La classification générale des produits s'est faite en soixante-huit classes réparties dans vingt-deux groupes, dont le détail est donné ci-après :

I. — Beaux-Arts

Classe 1. — Peintures et dessins.
— 2. — Sculptures et gravures en médailles.
— 3. — Gravures et lithographies.
— 4. — Dessins et modèles d'architecture.

II. — Enseignement

Classe 5. — Enseignement primaire.
— 6. — Enseignement moyen et supérieur.
— 7. — Enseignement professionnel.

III. — Arts libéraux

Classe 8. — Objets scientifiques, cartographie, etc.
— 9. — Médecine, chirurgie, hygiène.
— 10. — Photographie.
— 11. — Typographie, lithographie, librairie, papeterie.

IV. — Industries d'art

Classe 12. — Orfèvrerie, bijouterie, industrie diamantaire, joaillerie.
— 13. — Musique (instruments, etc.).
— 14. — Les autres industries d'art (bronze, fer, zinc, galvanoplastie, émaux), coutellerie.
— 14 *bis*. — Application usuelle des arts du dessin et de la plastique.

V. — Industrie minéralurgique

Classe 15. — Mines.
— 16. — Carrières et ciments.
— 17. — Céramique.
— 18. — Verrerie, cristallerie, glacerie, gobeletterie et vitraux.
— 19. — Métallurgie du fer et de l'acier.
— 20. — Métallurgie du zinc.
— 21. — Métallurgie des autres métaux (cuivre, plomb, nickel, etc.).

VI. — Grande construction mécanique

Classe 22. — Machines motrices; machines d'épuisement, d'extraction ; chaudières, etc.
— 23. — Mécanique et machines-outils.
— 24. — Matériel des chemins de fer.

VII. — Petite construction mécanique

Classe 25. — Horlogerie.
— 26. — Armurerie.
— 27. — Mécanique de précision et petite construction mécanique en général.

VIII. — Électricité

Classe 28. — Piles, dynamos, transmissions électriques; éclairage.
— 29. — Télégraphie, téléphonie.

IX. — Industries textiles

Classe 30. — Fils de lin, de chanvre, de coton, de jute, de soie, etc.
— 31. — Tissus des mêmes matières.
— 32. — Fils de laine.
— 33. — Tissus de laine.

X. — Industrie du vêtement

Classe 34. — Vêtements des deux sexes.
— 35. — Bonneterie et lingerie.
— 36. — Dentelles, tulle, broderie, passementerie.
— 37. — Cuirs et peaux.
— 38. — Articles de voyage et de campement et objets accessoires du vêtement.

XI. — Industrie du bâtiment

Classe 39. — Matériaux de construction.
— 40. — Industrie des tapissiers et des décorateurs.
— 41. — Matériel et outillage des différentes professions de la construction.
— 42. — Mobilier.
— 43. — Tabletterie, vannerie, bimbeloterie.
— 44. — Chauffage et ventilation.
— 45. — Éclairage.

XII. — Locomotion

Classe 46. — Carrosserie et sellerie.
— 47. — Vélocipédie.
— 48. — Locomotion aérienne.

XIII. — Industries chimiques

Classe 49. — Industrie du papier.
— 50. — Procédés et produits chimiques et pharmaceutiques, Blanchiment, teinture, impression. Caoutchouc.
— 50 *bis*. — Huilerie, savonnerie, stéarinerie.
— 51. — Parfumerie.

XIV. — Industries alimentaires

Classe 52. — Sucrerie, boulangerie, pâtisserie, conserves et condiments.
— 53. — Distillerie.
— 54. — Brasserie.
— 55. — Tabacs.
— 56. — Vins et boissons fermentées.

XV. — Génie civil

Classe 57. — Ports, canaux, routes, ponts, ascenseurs, architecture civile, etc.

XVI. — Navigation

Classe 58. — Constructions navales, armement, équipement et sauvetage.

XVII. — Commerce

Classe 59. — Statistique et bibliographie commerciales.
— 60. — Musées commerciaux.
— 61. — Colonies : articles d'exportation et d'importation, ethnographie, minéralogie.

XVIII. — Art militaire

Classe 62. — Armes de guerre, fortification, équipement, matériel de transport, topographie et géographie militaires, etc.

XIX. — Agriculture

Classe 63.

XX. — Sylviculture

Classe 64.

XXI. — Pêche et pisciculture

Classe 65. — *a)* Bateaux et matériel de pêche ;
b) Pêche en eau douce ;
c) Conditions économiques des pêcheurs ;
d) Commerce et économie ;
e) Eaux douces et eaux salées ;
f) Histoire et bibliographie.

XXII. — Horticulture

Classe 66.

Emplacement et superficie.

L'Exposition de 1894 occupe le même emplacement que celle de 1885 *(Pl. 118)* dans les nouveaux quartiers du sud de la ville, à proximité de l'Escaut et de la gare du Sud à laquelle elle a été reliée pour faciliter l'arrivée, à pied d'œuvre, des matériaux et des produits.

Elle n'est distante de la place Verte, centre de la vieille ville, que de 1 500 *m* et d'environ 2,5 *km* de la gare de l'Est, par laquelle on arrive de France, en passant par Bruxelles.

Sa superficie totale est de 360 000 m^2; c'est presque le double de celle de 1885. La surface couverte par les halles est de **110 000 m^2**, comprenant *(Pl. 118)* essentiellement, un bâtiment principal, avec aile en retour, désigné sous le nom de Halles de l'Industrie et une Galerie des machines et de l'électricité. Dans l'enceinte de l'Exposition sont enclavés l'ancien Palais de l'industrie de 1885, qui servira de salle de fêtes et le Musée de peinture d'Anvers, affecté à une Exposition des beaux-arts, conjointement avec un bâtiment spécial construit derrière le Musée. Le quartier du Vieil-Anvers s'étend sur 2 *ha*; tout le reste du terrain est occupé par les jardins, les pavillons particuliers, les restaurants, les nombreux kiosques de dégustation et par les exhibitions de toute nature.

Bâtiments principaux.

La Société de l'Exposition, qui ne possédait qu'un faible capital, n'aurait pu assumer la charge de faire construire tous les bâtiments à ses frais. Elle en a concédé l'établissement à quelques adjudicataires qui en conserveront la propriété et auxquels elle paie le prix de la location de ces bâtiments, à charge par les entrepreneurs d'en effectuer la démolition et d'en assurer l'entretien pendant les six mois de la durée de l'Exposition.

La nature de cette combinaison explique l'économie qui a présidé à l'édification des halles et qui se traduit par une légèreté caractéristique des charpentes métalliques et par une grande sobriété dans la décoration. Exception cependant doit être faite pour la façade monumentale, qui se dresse à l'extrémité de l'avenue du Sud, par laquelle se fait l'entrée principale de l'Exposition.

On accède dans les halles de l'industrie par 4 entrées en façade, dont 3 (*a*, *b*, *c*) dans le bâtiment principal et une (*d*) dans l'aile en

retour. Elles s'ouvrent sur des travées, ayant respectivement 25 *m* de portée pour les trois premières et 20 *m* pour la quatrième, reliées perpendiculairement à une galerie de 25 *m* qui règne sur toute la longueur des halles de l'industrie, avec un développement total de 630 *m*. Les travées latérales, parallèles au grand axe du bâtiment, ont 20 *m* et 15 *m* de portée.

Le passage principal communique, d'un côté, avec les jardins, par une porte (*e*) faisant face à l'avenue d'Orient; de l'autre côté, il est continué par un pont biais, formant galerie, de 20 *m* de largeur, jeté au-dessus de la rue du Retranchement et qui donne accès sur le balcon intérieur de la halle des machines.

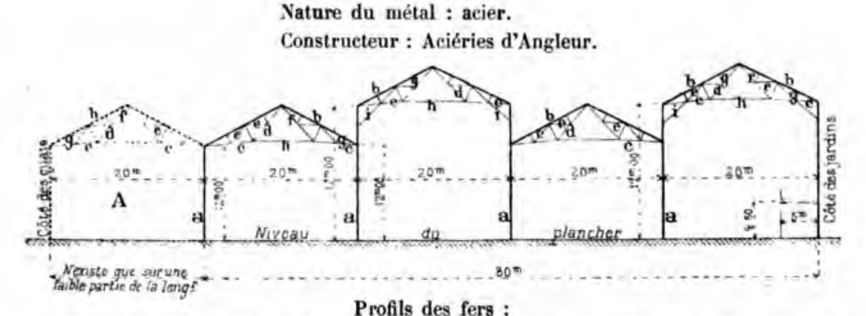
Les visiteurs peuvent pénétrer directement dans ces halles par deux entrées (*f*), superposées, vis-à-vis de l'Exposition du Congo.

Fig. 1.

Halles des machines et de l'électricité.

SCHÉMA DE LA COUPE TRANSVERSALE

Nature du métal : acier.
Constructeur : Aciéries d'Angleur.



Profils des fers :

a) 2 fers à I de 235 × 90 × 6,5; *d*) 2 plats de 55 × 7; *g*) 2 cornières de 45 × 45 × 4.
b) 2 cornières de 120 × 80 × 8; *e*) 2 plats de 45 × 6; *h*) 2 plats de 60 × 7.
c) 2 plats de 80 × 9, *f*) 2 plats de 40 × 8; *i*) un plat de 50 × 7.

Écartement des fermes 10 *m*.

L'une est au niveau du rez-de-chaussée et l'autre à la hauteur du balcon, que des rampes, un pont et un viaduc mettent en communication avec les jardins.

Trois constructeurs principaux ont été déclarés adjudicataires des travaux : les aciéries d'Angleur, pour les halles des machines, le pont-galerie et, d'une façon générale, pour toutes les fermes en acier, métal à l'emploi duquel on a donné une grande importance; la Société de Baume et Marpent, pour les charpentes en fer, qui constituent la majeure partie des halles de l'industrie; la Société de construction de Haine-Saint-Pierre, pour la façade principale et le dôme central, également en fer.

Les *halles des machines*, qui ont été inaugurées le 12 juin, sont constituées par quatre travées dont les fermes, en acier, sont distantes de 10 *m* et ont une portée de 20 *m* (*fig. 1*). Elles sont montées sur poteaux métalliques ayant alternativement 12 *m* et 17 *m* de hauteur. Une cinquième travée (A) ne règne que sur une faible partie de la longueur. Le balcon, de 5 *m* de largeur, qui contourne la halle sur trois de ses côtés, est élevé de 4,50 *m* au-dessus du sol. Les fermes sont constituées par deux arbalétriers supportés en trois points par des contre-fiches perpendiculaires, reliées au moyen de tirants. Les assemblages ne sont pas articulés. Ces charpentes ont une légèreté extraordinaire; le tableau, qui accompagne la figure 3, donne les profils des éléments constitutifs de chaque ferme. Les poteaux sont formés par des fers à I laminés, les arbalétriers et les contre-fiches, par des cornières, et les tirants par des fers plats. On n'a donc fait usage que de fers du commerce qui pourront, ultérieurement, être réemployés.

Une particularité intéressante qui, d'ailleurs, s'applique à toutes les fermes, soit en fer, soit en acier de l'Exposition, est à noter : les constructeurs désirant, après démolition des charpentes, en conserver toute la valeur marchande, ont évité d'y percer des trous; les extrémités des fers sont serrées dans des sabots de jonction, en fonte, réunis par les tirants. Les fermes pourront ainsi être revendues facilement à l'industrie privée, soit partiellement, soit même en totalité, car les portées de 15, 20 et 25 *m* qu'ils ont admises, sont de dimensions courantes.

Fig. 2.

Halles de l'Industrie.

SCHÉMA D'UNE FERME

Nature du métal : fer.
Constructeur : Société de Beaume et Marpent.



Profils des fers :

a) 1 fer à I de 175 × 80;
b) 1 fer à I de 120 × 72;
c) 2 fers ronds de 30 *mm*;
d) 2 fers ronds de 20 *mm*;
e) 1 fer plat de 50 × 8;
f) 2 fers à I de 180 × 60.

Écartement des fermes : 5 *m*.

Le type de combles en fer, adopté par la Société de Baume et Marpent, pour les *halles de l'industrie*, est représenté schématiquement sur la figure 2. Les fermes, distantes de 5 *m*, ont une portée de 20 *m*; elles reposent sur poteaux métalliques de 7,50 *m* de hauteur. Les arbalétriers sont supportés par deux contre-fiches obliques entretoisées à leur partie supérieure et reliées aux arbalétriers, par leur pied, au moyen de tirants. Ici, également, les fers laminés ont été seuls employés; pour les arbalétriers, les poteaux et les contre-fiches, on a adopté des fers à I et pour les tirants, des barres rondes ou plates. Les dimen-

sions principales des sections sont consignées dans le tableau de la figure 2.

Le cahier des charges imposait un travail moléculaire limite de 10 *kg* pour l'acier et de 6 *kg* pour le fer, soumis à des charges permanentes, et respectivement de 15 et de 9 *kg* avec des charges accidentelles. Les calculs de vérification ont montré qu'avec les plus grands vents, l'effort maximum, supporté par l'acier, était de 13 *kg* environ par millimètre carré et de 8,50 *kg* pour le fer.

Les poteaux métalliques reposent sur des piliers en briques, d'un empattement suffisant pour n'exercer sur le bon sol qu'une pression maximum de 3 *kg* par centimètre carré.

Les toitures, en zinc, sont percées, en vue de la ventilation, d'ouvertures recouvertes de lanterneaux.

Le sol des halles est planchéié et calculé de façon à pouvoir supporter 500 *kg* par mètre carré; en certains points, cette limite a été portée à 1 500 *kg*.

Les revêtements extérieurs des locaux sont faits avec des planches rabotées et assemblées. Pour toute ornementation, ces cloisons en bois ont reçu une couche de peinture ou des applications de staff, sur le parement extérieur.

Façade principale.

La façade du bâtiment principal possède, seule, un réel caractère artistique. Sa construction est due à M. Truyman dont la conception semble se rapprocher de celle de M. Bouvard, dans le Dôme central du Champ de Mars. Il faut toutefois féliciter l'architecte d'être entré résolument dans la voie que ses devanciers français lui ont montrée en 1889, et qui a conduit à la création, dans l'art monumental, d'une esthétique moderne, où le métal joue un rôle prépondérant.

La façade est en saillie de 23 *m* sur les halles de l'industrie. Elle est constituée par une entrée à triple portique, surmontée d'une coupole en fer et reliée par deux petites ailes à des tourelles qui supportent des phares électriques. De chaque côté s'étendent des galeries-promenoirs, où sont installés des restaurants et des cafés. La longueur totale de la façade est de 265 *m* et celle de la partie centrale, mesurée à l'extérieur des tourelles, de 55 *m*.

Le dôme a 21 *m* de diamètre d'axe en axe des poteaux métalliques. Les arbalétriers cintrés, en treillis, ont leurs membrures

apparentes ; ils se réunisent, à leur partie supérieure, à une couronne servant de base à un élégant campanile représentant la forteresse qui figure dans les armes d'Anvers. La hauteur totale, du sommet du campanile jusqu'au niveau du sol, est de 45 *m*.

A la retombée des arbalétriers, entre chaque fronton qui surmonte les grandes baies en plein cintre, un sphinx profile sa silhouette énigmatique. Au-dessus de la porte d'honneur, une statue d'Anvers, de grandes proportions, souhaite la bienvenue aux étrangers avec le « Welkom » inscrit sur la banderole qu'elle tient entre ses mains.

Les arêtes et le couronnement de la coupole, ainsi que le campanile, sont revêtus de dorures. Des panneaux décoratifs et des cartouches en staff ornent les clés, les tympans, les frontons et les archivoltes des portes. Le remplissage des montants est fait par des faïences polychromes et des carreaux de terre cuite, dont les couleurs sont en harmonie avec la tonalité de l'ensemble.

L'intérieur du dôme est éclairé, pendant le jour, par les vitrages de la zone inférieure et le soir, par des globes électriques suspendus sous la voûte et sous les baies, ainsi que par des lampes à incandescence qui dessinent, à l'extérieur, les lignes principales de la coupole.

Les tourelles latérales ont une hauteur de 35 *m* ; leur soubassement est décoré par des proues de navires, en relief, qui semblent échouées au milieu de rochers garnis de verdure. De leurs anfractuosités s'échappent deux petites cascades dont les eaux s'épandent dans un bassin inférieur.

Deux larges escaliers extérieurs conduisent aux tribunes qui communiquent avec les terrasses à l'italienne, de 12 *m* de largeur, disposées au-dessus des galeries latérales.

Devant le Dôme central, un vaisseau, portant le dieu du Commerce et d'autres personnages allégoriques, repose au milieu d'un bassin entouré de pelouses et concourt à la décoration générale de l'entrée principale de l'Exposition.

Halles de l'industrie.

Au milieu du spacieux vestibule que recouvre le dôme s'élève un beau groupe en bronze, représentant deux lutteurs, par Van der Strappen. A gauche, un vaste bureau de postes, télégraphes et téléphones est mis à la disposition du public ; à droite, sont les bureaux de la presse. Devant nous s'ouvre la *Section belge* qui oc-

cupe environ le tiers de la superficie totale des halles de l'industrie.

La galerie centrale est fort bien décorée avec ses écussons, ses velums, ses drapeaux multicolores et ses frontons de différents styles qui surmontent les entrées des travées perpendiculaires. Son aspect général offre quelque ressemblance avec la galerie de 30 *m* de notre dernière Exposition ; peut-être n'est-elle pas suffisamment dégagée, ce qui a l'inconvénient d'entraver la circulation et d'enlever à cette allée principale le caractère d'ampleur que le vestibule semblait nous faire prévoir.

A l'entrée de cette galerie s'élève le kiosque élégant, tout en zinc, de la Société de la Vieille-Montagne. Toutes les applications du zinc ainsi que les progrès réalisés, pendant ces dernières années, dans la métallurgie de ce métal, y sont représentés.

Une série de pavillons originaux font suite à celui de la Vieille-Montagne, dans l'allée centrale ; tel est celui des fabriques de glaces et de cristaux du Val Saint-Lambert et d'autres de moindre importance se rapportant à des industries diverses (tuileries, étoffes, parfumerie, etc.).

A l'extrémité de cette galerie, au pied de l'escalier qui conduit à la passerelle du château aérien, est une reproduction, en staff, du grand iguanodon, exposée par le Musée royal d'histoire naturelle. Cette reconstitution de l'un des plus colossaux animaux antédiluviens, a coûté, dit-on, 8 000 *f*.

A droite de l'allée centrale, la manufacture royale de Malines expose de beaux spécimens de tapisseries, genre Gobelins ; Bruges et Malines nous présentent leurs dentelles et leurs broderies; Liège, ses armes et ses projectiles.

Après avoir parcouru les diverses classes relatives aux instruments de musique, aux vêtements et à l'ameublement, nous nous trouvons en présence de l'une des industries les plus florissantes de la Belgique : celle de la brasserie, qui nous offre des échantillons variés de ses produits, de ses machines et de ses procédés de fabrication. A citer, dans ce groupe, l'artistique pavillon de la collectivité des brasseurs belges.

La distillerie est représentée surtout par Meuùs, le fabricant d'alcools de grains le plus important, peut-être, d'Europe. Ses produits sont renfermés dans un kiosque circulaire, en cuivre rouge, ayant, approximativement, 7,50 *m* de hauteur et 6,50 *m* de diamètre. Les parois sont constituées par huit feuilles de cuivre surmontées d'une coupole de même métal. Nous retrouvons une

deuxième exposition du même fabricant près de celle de la collectivité belge des négociants en vins.

Du même côté sont installés les groupes des industries d'art, des arts libéraux et de l'enseignement professionnel.

Nous revenons vers la galerie centrale, en passant devant une brillante panoplie d'armes et de cartouches de la Société de Saint-Étienne et d'Anderlecht et nous trouvons, à gauche, les industries houillère et métallurgique, si importantes en Belgique. A mentionner : un portique monumental de 15 m de hauteur, constitué par des tuyaux de fonte, de la Compagnie des conduites d'eau de Liège ; puis les produits de la fonderie de bronze phosphoreux d'Anderlecht et ceux de la Société d'Ougrée.

Là, s'arrête le domaine de la Belgique ; nous traversons une exposition internationale consacrée au génie civil, à la vélocipédie, à la carrosserie et nous entrons successivement dans les *Sections allemande et anglaise*.

A l'extrémité des halles de l'industrie est située la *Galerie historique* qui comporte douze peintures panoramiques retraçant les principaux événements de l'histoire de la Belgique, depuis 1830; puis une exposition belge, très étendue, de l'*Art militaire*. Dans un parc voisin, le génie et le corps des pontonniers ont construit des passerelles volantes et des ponts de bateaux, sur des rivières simulées et sur des fossés de fortifications.

A droite de l'entrée principale, la *Section française* occupe la place d'honneur, à côté de la section belge. Une entrée particulière, symétrique de celle qui est affectée à la section allemande, lui a été réservée. Elle occupe, dans les halles de l'industrie, une superficie de 12 100 m^2, à savoir : 9 300 dans le bâtiment principal et 2 800 dans l'aile en retour. Son importance est à peu près égale à celle de l'Angleterre, de l'Allemagne et de la Russie réunies.

La France possède encore dans les jardins 2 000 m^2, sans compter le pavillon spécial à l'Algérie et à la Tunisie et, dans les halles des machines, 4 100 m^2.

Dès en entrant, nous sommes dans le domaine de la métallurgie, avec l'importante exposition de la Compagnie française des métaux, où les tubes, les plaques, les barres profilées et les coupoles sont groupés en trophées étincelants. A signaler particulièrement des plaques de foyer en maillechort, des tubes à ailerons pour chaudières, un tube lance-torpille en acier étiré sans soudure, une calotte emboutie, d'une seule pièce, en cuivre, de

3,25 *m* de diamètre et de 1,60 *m* de profondeur, des barres laminées et des tôles en aluminium.

A droite de l'entrée, on peut remarquer les canons à tir rapide de notre collègue M. Canet; le matériel d'armement, pour la marine et pour l'artillerie, du Creusot; les pièces en acier coulé et la collection d'éprouvettes d'essais des aciéries de Longwy.

A gauche de l'entrée, les usines de Châtillon-Commentry, ainsi que celles de Saint-Chamond, exposent des tourelles cuirassées, du matériel d'artillerie et de chemins de fer; la fabrique de fer de Maubeuge : une série de pièces embouties; les forges et aciéries de Denain-Anzin : des fers et des aciers profilés. La Providence, les hauts fourneaux de Maubeuge, les forges de Persan-Beaumont y figurent également.

Auprès du groupe métallurgique, la Compagnie de Saint-Gobain nous montre, dans un pavillon isolé, ses nouveaux verres imprimés, ses bacs pour accumulateurs, et ses tuyaux pour canalisations, en verre dur moulé, dus à M. Léon Appert, vice-président de la Société des Ingénieurs Civils. Puis, c'est la verrerie de Jeumont, la fabrique de produits céramiques de Maubeuge, les bronzes d'art de Barbedienne, Susse, Thiébaut et les industries de toute nature (coutellerie, optique, reliure, parfumerie, etc.) dont la nomenclature comporterait un développement excessif. Qu'il nous soit cependant permis de nous arrêter devant le salon luxueux des négociants en soieries de Lyon, l'exposition du syndicat des fabricants de drap d'Elbeuf et celle des filateurs et peigneurs de Tourcoing.

Nous voici dans la *Section russe*, dont le pavillon central et les portiques latéraux, en style oriental, sont du plus heureux effet. Les produits exposés dans les vitrines consistent principalement en étoffes et en liqueurs.

Nous passons rapidement dans la *Section autrichienne*, confortablement aménagée, où dominent surtout les verreries de Bohême et de Vienne; dans la *Section hongroise*, avec ses majoliques et ses grains; dans les *Sections portugaise, espagnole, turque* et *suisse*, d'importance secondaire. Dans la *Section roumaine*, la direction des chemins de fer de l'État nous fait voir, par des photographies et des modèles en relief, les principaux ouvrages d'art qu'elle a fait exécuter pendant ces dernières années.

L'*Italie* mérite l'attention de l'artiste par ses nombreuses sculptures, ses camées, ses émaux et ses mosaïques.

La *Navigation* forme une section internationale très importante

d'au moins 3 500 m^2 de superficie, occupés en majeure partie par l'Angleterre. Les grandes Compagnies maritimes d'Europe nous montrent des modèles de leur matériel : paquebots, chaudières et machines.

Les ports les plus importants y sont représentés par des plans en relief à grande échelle, par des réductions de cales de radoub et d'outillage de manutention. Les expositions des Lloyds de Brême et de Hambourg, de la maison de constructions navales Fairfield, à Glascow, des chantiers Armstrong, à Newcastle, sont à citer particulièrement.

Les usines Cockerill exposent quelques modèles de navires construits dans les chantiers d'Hoboken, près d'Anvers. A mentionner surtout le luxueux paquebot *Marie-Henriette* (1) qui fait, depuis quelques mois, le service postal d'Ostende à Douvres. Sa machine compound, à deux cylindres, a une puissance de 8 300 *ch* indiqués. La vitesse moyenne, aux essais, a dépassé 22 nœuds ; c'est, parait-il, la plus grande qui ait été atteinte, jusqu'ici, par un navire à roues. A côté de ce bateau figure l'arbre de rechange de sa machine; il est creux, en acier forgé; il a un diamètre de 0,50 *m* et pèse 17 500 *kg*.

Près de la section maritime, *la Bulgarie* nous offre ses étoffes aux chatoyantes couleurs, ses produits agricoles et les travaux de ses écoles professionnelles.

Sa voisine, *la Perse*, n'a pas à nous montrer des échantillons de son industrie moderne; mais, dans un élégant salon de 250 m^2 d'étendue, dont l'entrée est du style persan le plus pur, elle a installé une exposition d'art rétrospectif : tapis, étoffes, peintures, armes et bijoux anciens de grande valeur.

Nous traversons rapidement la *Section des États-Unis*, où peu de produits, à l'exception des roues sans bandages en fonte trempée, pour matériel de chemins de fer, sont de nature à retenir notre attention.

Nous trouvons en *Suède et Norwège* l'industrie des pelleteries et la fabrication de la laine et de la pâte de bois; en *Chine et au Japon*, les meubles et les étoffes, d'un art si différent du nôtre; puis, viennent deux *annexes des expositions belge et française* : la première, consacrée en grande partie à l'agriculture belge (produits et machines), aux écoles professionnelles, à la zoologie et la botanique; la seconde, décorée en façade par un porche, avec

(1) Voir la description détaillée dans le numéro du *Portefeuille des Machines* de février 1894 et dans le numéro du 9 mars 1894 de l'*Engineering*.

statues en plâtre, est réservée aux matières d'alimentation et aux industries chimiques françaises. L'aristocratie des crus bordelais, champenois et bourguignons, ainsi que les meilleurs produits de Cognac, s'y sont donnés rendez-vous pour maintenir à l'étranger l'antique renommée de nos richesses vinicoles.

Les produits alimentaires tiennent également une place importante dans la *section des Pays-Bas*, qui renferme aussi une exposition coloniale néerlandaise.

Le pont-galerie qui lui fait suite, d'une superficie de 2 200 m^2, est affecté à la vente de menus objets.

Halles des machines et de l'électricité.

Nous arrivons sur le balcon intérieur de la halle des machines et de l'électricité, et, de là, nous pouvons embrasser d'un coup d'œil l'ensemble de la vaste nef. Elle couvre environ 22 000 m^2 dont 9 500 sont consacrés à la Belgique et le reste à la France, à l'Angleterre et à l'Allemagne. Deux ou trois autres pays n'y occupent qu'une place négligeable.

Nous examinerons d'abord les expositions les plus saillantes des industriels de chaque nationalité, avec mention spéciale pour le matériel des chemins de fer, puis nous dirons quelques mots de la production de la force motrice, de l'éclairage électrique et du service de l'eau à l'Exposition.

En descendant l'escalier le plus rapproché du pont-galerie, on trouve, à gauche, la *Section anglaise*, dont l'importance est assez réduite. On ne peut guère y signaler que les installations de la Cie Westinghouse et celles des constructeurs de chaudières Galloway, Babcox et Wilcox.

A droite de l'escalier est la *Section belge*. La Société de construction du Phœnix, de Gand, expose deux machines à vapeur, l'une de 25 et l'autre de 4 *ch*, à distribution Hertay à tiroirs plans fractionnés, ainsi qu'un petit moteur à gaz, système Phœnix. Nous ne parlons pas des machines de plus grande puissance, qui sont utilisées pour produire la force motrice, et sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir. Les moteurs à vapeur, à grande vitesse, destinés à actionner directement des dynamos sont assez nombreux; on peut citer les machines Willans à distribution centrale et deux nouveaux moteurs verticaux : l'un de Carels à tiroirs rotatifs, l'autre de Frikart d'une force de 160 *ch*, à 300 tours. Dans la même catégorie rentrent les turbines à vapeur, système

Laval, peu connues en France et dont l'origine ne remonte guère qu'à deux ans. La vapeur y agit par sa force vive sans aucun organe mobile de distribution comme le ferait l'eau sur les aubes d'une turbine Fontaine, à introduction partielle. La vitesse de rotation atteint des valeurs fantastiques; elle varie de 30 000 à 15 000 tours par minute, suivant la force de la machine; elle est réduite, sur l'arbre de la dynamo ou de la poulie de commande, dans le rapport de 1/10. C'est le moteur rotatif le plus simple et le moins encombrant qu'il soit possible de trouver.

Les établissements de Marcinelle et Couillet exposent une machine fixe compound, à deux cylindres, de 200 *ch*, à distribution à soupapes; puis une série de pièces et de tôles en acier; du matériel d'artillerie et principalement des obus de rupture en fonte trempée et des obus en acier, emboutis d'une seule pièce.

La Société Cockerill possède, au centre de la halle des machines, une importante exposition. Nous citerons une machine Frikart, horizontale, à triple expansion et à condensation, de 600 *ch*, avec distribution à déclic. L'arbre est à deux manivelles, dont l'une est commandée par le petit et par le moyen cylindre, montés en tandem; l'autre, par le grand cylindre, dans le prolongement duquel se trouve la pompe à air. Une machine marine du même constructeur, à triple expansion, de 1 600 *ch*, donne le mouvement à une hélice de 5,200 *m* de diamètre. L'arbre et les diverses pièces du mécanisme sont en acier. A côté du moteur principal, sont les machines auxiliaires : un servo-moteur pour la commande des organes de distribution, une pompe centrifuge à vapeur pouvant servir de pompe de circulation et d'épuisement, enfin un vireur à vapeur qui permet de faire tourner la machine principale lorsqu'elle est au repos. En outre, la maison Cockerill expose comme matériel d'artillerie des douilles, des projectiles et des canons à tir rapide, type Nordenfeld.

La maison Lechat, de Gand et de Lille, nous offre une collection complète de courroies en coton de toutes dimensions, jusqu'à 2,10 *m* de largeur. Les transmissions des moteurs et des dynamos qui fonctionnent dans la galerie des machines sont, en majorité, actionnées par des courroies de ce système.

Dans la classe de l'électricité, l'exposition de la Compagnie internationale d'électricité de Liège (maison Pieper) et celle de la Société Electricité et Hydraulique de Charleroi (maison Dulait) viennent en première ligne, par leur importance; nous y reviendrons en traitant la question du transport électrique de la force et de l'éclai-

rage dans l'Exposition. Mentionnons seulement un pompe transportable de mine, à 3 corps, pouvant refouler 80 litres d'eau par minute à 180 *m* de hauteur et commandée directement par une dynamo Dulait à 110 volts; puis les ventilateurs de la maison Pieper, actionnés par de minuscules dynamos tournant à des vitesses variant de 500 à 2 000 tours et permettant l'aérage des petits locaux. Ces appareils pèsent de 1,5 *kg* à 2 *kg*. Leur installation peut se faire très rapidement, dans la salle qu'il s'agit de ventiler, au moyen d'un raccordement, avec 2 fils, à la source électrique.

Nous voici devant la magnifique exposition de M. de Naeyer. Elle comporte, sur une longueur d'environ 115 *m*, un matériel complet, pour la fabrication du papier et pour celle de la glace, fonctionnant sans interruption devant le public.

L'atelier pour la préparation de la pâte à papier possède quatre broyeurs, mus par des dynamos. Une batterie de pompes actionnées par une machine à vapeur d'environ 40 *ch*, fournit l'eau nécessaire à la production de la pâte. Viennent ensuite une colossale machine à papier commandée par une dynamo spéciale et une coupeuse, mue également par moteur électrique, qui affranchit le papier sans fin et le transforme en feuilles de dimensions déterminées.

La machine à faire la glace, par le procédé Raoul Pictet, peut fournir 1 200 *kg* à l'heure. Toutes les opérations se font mécaniquement, depuis le remplissage des bacs d'eau, jusqu'à l'extraction des blocs de glace, de leurs moules. Un moteur à vapeur à tiroirs circulaires, de la force de 80 *ch*, donne le mouvement au compresseur.

Dans la *Section allemande*, jetons un coup d'œil sur les locomobiles et sur les machines agricoles de la maison Lanz de Mannheim et dirigeons-nous vers la *Section française*, dont l'importance est ici à peu près égale à celle de sa voisine. Deux cent cinquante industriels y ont exposé leurs produits; citons, au hasard, Bouhey, avec ses machines-outils; Bollée, avec ses béliers hydrauliques, Boulet, Albaret, Morane, Ravasse, Paupier, Geneste et Herscher.

L'industrie des chemins de fer n'est guère représentée, dans la galerie des machines, que par le matériel roulant. Est-il besoin d'ajouter que la Belgique y possède une prépondérance marquée ?

La Société de Marcinelle et Couillet expose : 1° une locomotive pour voie normale, destinée au Mexique, à quatre essieux, dont trois accouplés et d'un poids approximatif de 44*t* à vide. Son

tender est à quatre essieux à bogies ; 2° une machine-tender de 4,5 *t*, pour voie de charbonnage de 0,50 *m*. Ces deux locomotives possèdent des cylindres extérieurs et une distribution Walschaert.

Les établissements Cockerill ont une machine compound pour voie de 1 *m*, destinée à la Russie. Elle doit faire un service de trains mixtes et pouvoir remorquer, sur rampes de 0,008 *m* une charge de 320 *t*. Ses quatre essieux sont accouplés et ses deux cylindres, extérieurs, peuvent fonctionner indifféremment avec la marche ordinaire ou compound. Comme particularités, nous citerons le chauffage au naphte, et la possibilité de faire varier, en cours de marche, la hauteur de la tuyère d'échappement, selon le degré de serrage de celui-ci. Cette locomotive est accompagnée d'un tender à six roues.

La Société Franco-Belge expose une puissante machine pour voie normale, construite dans ses ateliers de la Croyère. Cette locomotive a trois essieux accouplés et un essieu porteur à l'avant, avec boîtes radiales. Les cylindres sont extérieurs. Le foyer a une largeur inusitée qui a nécessité l'établissement de quatre portes de chargement. La boîte à fumée a, comme la plupart des nouvelles locomotives belges, une grande capacité. Un tachymètre à cadran est monté à l'arrière, du côté du mécanicien.

Aux ateliers de la Croyère ont été construits également une voiture à couloir, pour chemins vicinaux et un robuste truck électrique, à quatre roues freinées, possédant deux dynamos calées sur le milieu de chaque essieu.

Des usines de la Société de Haine-Saint-Pierre sort une machine à trois essieux accouplés, à mécanisme intérieur, à longeron central et à changement de marche à vapeur.

Deux locomotives-tenders, également à trois essieux, à adhérence totale, sont exposées, la première par Zimmermann-Hanrez, de Monceau-sur-Sambre, avec mécanisme extérieur et distribution Walschaert ; la seconde par la Société de la Meuse, à Liège. A noter, dans cette dernière, un dispositif bizarre nécessité par l'abaissement excessif de la grille et qui est assez incommode pour le chargement du combustible et pour la conduite de la machine. La plate-forme du chauffeur constitue le fond d'une fosse rectangulaire en contre-bas de 0,70 *m* environ par rapport aux tabliers latéraux.

Une locomotive et six véhicules appartiennent à l'État belge. La machine, pour trains express, a été construite par les ateliers de Tubize. Elle a quatre essieux, dont deux porteurs, l'un à l'a-

vant, l'autre à l'arrière ; elle possède des roues motrices de 2,20 *m*, des cylindres intérieurs, un longeron central et un changement de marche à vapeur. Un tachymètre donne les indications de vitesses. Le large foyer est desservi par trois portes ; comme dans les locomotives belges actuelles, la boîte à fumée est du type américain, la cheminée a une section carrée et les ressorts, en acier rainé, ont été construits sans flèche de fabrication.

Les véhicules de l'État belge sont : une voiture-couloir de troisième classe, pour trains légers ; un wagon plate-forme à deux bogies et longerons armés ; un grand fourgon à bagages, à miroirs et à trois essieux, construit par les ateliers de Monceau-sur-Sambre ; un wagon de 10 *t* des établissements de construction de Bruges ; un fourgon blindé, du poids de 21 *t* de l'atelier central de Malines ; un wagon-écurie, avec plan incliné d'embarquement, très bien étudié par la Société de Baume et Marpent ; une voiture mixte à deux bogies et à couloir latéral de la Société Dyle et Bacalan ; enfin, une voiture de luxe sortant des usines Ragheno à Malines.

La Société « la Métallurgique » expose une voiture légère de quarante-trois places, à couloir et à plates-formes, pour les chemins de fer vicinaux belges.

La Société « l'Industrie » à Louvain possède un fourgon à bagages, à miroirs et à vigie.

Le matériel des chemins de fer français est représenté par la locomotive compound à quatre cylindres C. 12 de la Compagnie P.-L.-M. C'est le type, un peu modifié, de la machine qu'elle a exposée à Paris en 1889, mais avec bogie à déplacement latéral et avec application de tubes à ailerons. Le changement de marche se fait par un mécanisme unique, à contrepoids de vapeur, commandant les quatre distributions (1).

Deux voitures, l'une de première, l'autre de deuxième classe, de la Compagnie P.-L.-M. figurent à côté de la machine C. 12. Ces deux véhicules sont du poids de 16 *t* ; ils possèdent trois essieux, un couloir latéral et des soufflets de communication.

La « Fabrique mecklembourgeoise » nous offre un échantillon assez lourd de construction allemande, avec une locomotive pour voie étroite, à deux essieux accouplés, à cylindres extérieurs et à changement de marche à levier.

Quelques pièces détachées de matériel de chemin de fer, telles

(1) Voir la description détaillée dans le numéro de la *Revue des Chemins de fer* de janvier 1894.

que boîtes à huile en fonte, essieux montés, centres de roues de divers types, sont présentées par la Société de Baume et Marpent; des roues en fer forgé, par Brunon, de Rive-de-Gier; des essieux droits et coudés, des roues et diverses autres pièces en acier, par les aciéries autrichiennes de Skoka, à Pilsen; enfin, de nombreux spécimens de roues, essieux et bandages en acier, par les aciéries d'Oberbilk, à Düsseldorf.

La *force motrice* nécessaire aux différentes parties de l'Exposition est produite, presque entièrement, par des machines à vapeur installées en différents points des halles des machines. La vapeur est fournie par une batterie, à douze foyers, de quatre générateurs de Naeyer pouvant alimenter 2 000 *ch*. Ces chaudières et les deux énormes cheminées en tôle qui les desservent sont situées dans la cour de la galerie des machines, parallèlement au quai Flamand.

Quoique les générateurs soient timbrés à 8 *kg*, la vapeur n'est distribuée qu'à 5 *kg* environ, aux appareils qui l'utilisent. Les canalisations sont munies de purgeurs automatiques et de compensateurs de dilatation. Des tuyaux et des égouts de décharge recueillent les eaux de purge et de condensation.

La redevance payée par chaque exposant qui emploie de la force motrice est de 0,20 *f* par heure et par cheval déclaré; exception est faite pour les machines qui fonctionnent au compte de la Société de l'Exposition, laquelle paie à leurs propriétaires 2 *f* par heure de travail.

Les principales machines donnant le mouvement aux transmissions générales sont :

Un moteur Hoyois, de Haine-Saint-Pierre, d'une puissance de 100 *ch*. L'admission se fait au moyen de soupapes placées sur les fonds du cylindre et l'échappement ainsi que la purge s'effectuent par des tiroirs plans à la partie inférieure de chaque extrémité du cylindre. Les espaces morts sont, avec cette disposition, notablement réduits.

Un moteur Lebrun, de 100 *ch*, à tiroirs plans fractionnés.

Une machine Bollinckx, de Bruxelles, de 100 *ch*, avec distribution genre Corliss.

Ces trois moteurs commandent des dynamos.

Une machine Hertay, de 80 *ch*, à 70 tours, de la Société du Phœnix.

Une autre de la Société des établissements Halot, de Bruxelles.

Deux moteurs à soupapes commandant deux dynamos Dulait,

l'un de 90 *ch* à 75 tours, du système Langen, l'autre de 100 *ch* à 70 tours, construit par Heinrichs, de Verviers.

Les *transmissions* sont entièrement souterraines. Les moteurs étant assez éloignés des divers points où la puissance motrice est utilisée, on a eu recours, sur une vaste échelle, au transport de la force par l'électricité.

Les Sociétés Pieper et Dulait fournissent, presque en totalité et en proportions égales, le courant nécessaire à la transmission de l'énergie et à l'éclairage électrique.

Les deux génératrices Dulait, citées précédemment, sont chacune de 300 *ch*, à la vitesse de 300 tours par minute, mais leur puissance n'est que partiellement utilisée. Elles alimentent, pendant le jour, vingt-deux ou vingt-trois dynamos réceptrices, dont quatorze sont placées dans la galerie des machines et donnent séparément le mouvement aux arbres de transmission des sections belge, française, anglaise, ainsi qu'à des machines spéciales, généralement de faible importance. Huit ou neuf autres réceptrices Dulait, en dehors des halles des machines, desservent des installations particulières, entre autres le pavillon du Transvaal.

Pendant la nuit, les deux dynamos de 300 *ch* sont employées à la production de l'éclairage électrique.

La maison Pieper a, en fonctionnement, cinq génératrices, commandées par les moteurs à vapeur dont nous avons donné la nomenclature :

L'une, bipolaire, est de 300 ampères sous 125 volts ; les quatre autres, quadripolaires, dont deux de 400 ampères sous 125 volts et deux, compound, de 150 ampères sous 500 volts.

Pendant le jour, la papeterie de M. de Naeyer absorbe la majeure partie de la puissance développée par ces génératrices. Une réceptrice d'environ 80 *ch*, sous 500 volts, est employée par la machine à papier, quatre de 150 ampères, sous 120/125 volts, par les broyeurs à pâte et une de 75 ampères, sous 120/125 volts, est réservée à la coupeuse.

Une autre réceptrice Pieper commande l'arbre de la section allemande, dans la galerie des machines. Sur ces sept réceptrices, quatre sont munies de démarreurs automatiques et trois de rhéostats.

Pendant la nuit, les cinq dynamos génératrices Pieper sont utilisées pour l'éclairage électrique ; les deux machines à haute tension sont consacrées aux jardins et les trois autres, à basse tension, à l'éclairage particulier.

L'installation Pieper comporte, en outre, une sixième dynamo de secours, commandée directement par un moteur Willans de 100 *ch*.

L'éclairage électrique n'est pas installé dans les halles de l'industrie et dans la galerie des machines qui sont closes à 6 heures du soir; il n'est appliqué, concurremment à la lumière du gaz, que dans les jardins et dans le Vieil-Anvers, accessibles au public jusqu'à 11 heures; dans le dôme central, dans l'aquarium et dans quelques locaux particuliers.

Les dynamos Dulait et Pieper, installées dans la halle des machines, fournissent l'éclairage électrique aux jardins, à la façade principale et aux particuliers, au moyen de conducteurs aériens dans lesquels la différence de potentiel est généralement de 120 volts. Chaque dérivation est munie, à son origine, d'un plomb fusible

Des guirlandes de verres multicolores, encadrant les pelouses et dessinant les massifs principaux, complètent la décoration lumineuse des jardins, produite par les lampes à arc. On serait assez désillusionné si l'on s'attendait à voir les féeriques mais coûteuses illuminations, ainsi que les embrasements fantastiques que nous admirions à Paris en 1889; néanmoins, l'éclairage des jardins de l'Exposition est largement suffisant.

Le quartier du Vieil-Anvers possède aussi, malgré l'anachronisme, la lumière électrique. La grande place et les deux rues voisines sont éclairées par des foyers à arc, suspendus à de rustiques potences moyen âge et les habitations ont des lampes à incandescence.

Le courant est donné par une dynamo spéciale, placée dans la galerie des machines, et actionnée directement par une turbine de 150 *ch* du système Van Rysselberghe. Celle-ci fonctionne, à grande vitesse, sous l'action de l'eau, refoulée à une pression de 50 *atm*, par une machine installée au bord de l'Escaut.

Une tentative intéressante de *ventilation mécanique* de la halle des machines doit être signalée, quoique, ne marchant pas encore, à cause du retard apporté au montage des appareils. L'idée première de cette installation est due à M. Bika, délégué du gouvernement, pour l'aménagement du hall des machines. Une série de branchements et de canalisations dissimulés sous le plancher, aboutissent à un ventilateur aspirant Farcot, à faible dépression, d'un débit de 50 m^3 par seconde; celui-ci est commandé sans intermédiaire par un moteur à vapeur Willans, à grande vitesse,

développant 65 *ch.* Les deux arbres, en prolongement, sont reliés par un accouplement élastique.

Le *service de l'eau à l'Exposition* a nécessité une installation importante, concentrée dans la galerie des machines, à proximité des bassins de batellerie, où l'eau devait être puisée. Il s'agissait d'alimenter les halles des machines et particulièrement la papeterie et la fabrique de glace de M. de Naeyer, les générateurs, la cascade du village congolais, l'aquarium de l'exposition de pisciculture, enfin, les particuliers.

Pour répondre aux exigences de cette consommation, la maison Nyssens d'Anvers a établi deux installations de 400 m^3 chacune, à l'heure. Une batterie de neuf pompes verticales, triplex (soit, en tout, 27 corps) de la Compagnie Goulds de New-York, est reliée à une double conduite d'aspiration de 250 *mm* de diamètre intérieur et dont les longueurs sont de 125 *m* pour l'une et 140 *m* pour l'autre. La hauteur d'aspiration est d'environ 6,50 *m*. L'eau est refoulée, par un tuyau de 250 *mm* de diamètre et de 170 *m* de longueur, à une hauteur de 6 *m*, dans des réservoirs parallélipipédiques de 280 m^3, situés dans la cour de la galerie des machines et desquels part la conduite de distribution générale.

Le mouvement est communiqué, séparément, à chaque pompe (ce qui facilite le réglage du débit) au moyen de transmissions souterraines actionnées alternativement par un moteur à pétrole et par un moteur à gaz, construits par la maison Moritz, de Dresde, et développant chacun 30 *ch.*

Pour l'alimentation de la cascade du Congo, on a installé, près du pont en ciment qui la domine, une pompe, d'un débit de 40 m^3 par heure, qui est commandée, au moyen d'engrenages, par une dynamo américaine, recevant le courant de l'une des génératrices de la galerie des machines. Cette dernière dynamo est actionnée, soit par moteur à gaz, soit par moteur au pétrole. Notons, entre parenthèses, le mode original de transmission par engrenages de la réceptrice à la pompe. La roue, calée sur l'arbre de la dynamo, est formée de feuilles de cuir de buffle comprimées à la presse hydraulique, puis taillées à la fraise pour la formation des dents; on obtient avec ce dispositif une marche entièrement silencieuse.

Dans l'aquarium, des dynamos font mouvoir également des pompes Goulds qui assurent la circulation de l'eau douce et de l'eau salée dans les bassins.

Expositions diverses dans les jardins.

Il nous reste à dire quelques mots des expositions diverses situées en dehors des bâtiments principaux. En sortant de la halle des machines, on a devant soi le nouveau *Musée de peinture*, qui a été mis à la disposition des organisateurs de l'Exposition.

La Société royale d'encouragement des Beaux-Arts a l'intention d'organiser, dans un bâtiment spécial qui, en ce moment, n'est pas aménagé complètement, une exposition internationale d'art moderne, coïncidant avec le salon triennal d'Anvers.

Dans le sous-sol du Musée se tient l'*exposition de pêche et de pisciculture*, inaugurée le 1er juin. Les bassins de l'aquarium sont peuplés assez mesquinement, mais on peut mentionner une série assez pittoresque de costumes et d'engins de pêche de divers pays, une reproduction du parc aux huîtres d'Ostende, une exposition de conserves alimentaires maritimes et une collection conchyliologique.

A la sortie de l'aquarium, nous passons devant les produits d'une partie de la classe 39, réservée aux matériaux de construction; nous franchissons un pont en ciment, d'une seule arche de 25 *m* de portée, et nous arrivons devant l'*American propaganda*, construction assez spacieuse, d'un joli style, occupée par quelques industriels des États-Unis.

A côté, est un chalet en pitchpin et en briques de la *République Sud-africaine*. De nombreux échantillons de minerais, de grains, de laines, de peaux d'animaux, donnent une idée des richesses naturelles du pays.

La *Chambre de commerce d'Anvers* expose, dans un pavillon situé non loin de l'entrée principale, un grand nombre de cartes et de peintures murales, représentant les principaux ports du monde et, en particulier, Anvers à différentes époques; puis, une collection de documents de statistique commerciale.

A remarquer, à peu de distance, le kiosque de la maison française Civet, Crouet et Gautier, précédé d'un portique monumental à colonnes, entièrement en pierre extraite des carrières de Saint-Maximin, Souppes, Lérouville, etc.

Les deux classes consacrées à l'*agriculture* et à la *sylviculture* ont été un peu négligées. Quant à l'*exposition d'horticulture*, elle n'existe que sous une forme assez chétive, disséminée dans les jardins, où elle concourt à la décoration générale.

La plus grande partie de l'*exposition coloniale* est répartie dans les pittoresques bâtiments, aux physionomies si diverses, qui sont éparpillés à gauche des halles de l'industrie. Avec un peu d'illusion, on peut se croire transporté successivement en Algérie, au Maroc, en Égypte et même en Annam et au Zoulouland. On a peut-être donné trop d'étendue à ces exhibitions exotiques qui, par leur abus, pourraient faire dévier les Expositions de l'avenir de leur but principal, mais elles n'en présentent pas moins un certain intérêt au point de vue ethnographique.

L'*Exposition de l'Etat indépendant du Congo* mérite, par son importance et par son originalité, une mention spéciale. Vis-à-vis du Musée, une centaine de naturels des deux sexes, logés dans des huttes primitives, forment un véritable village, dont la police est faite par un détachement de soldats Bangalas. Quelques indigènes forgerons, tisserands, se livrent aux exercices de leur profession; d'autres piroguent sur un lac, au milieu de rochers artificiels, reproduits d'après des sites africains. A proximité, un palais d'architecture originale doit abriter les produits du continent noir.

Exhibitions diverses.

Outre les nombreux sujets d'études que l'ingénieur et l'industriel peuvent trouver dans les galeries, il convient de signaler quelques attractions d'un autre ordre qui, soit par leur pittoresque, soit par leur nouveauté, pourront contribuer au succès financier de l'Exposition, en y introduisant un accroissement de mouvement. Telle est la *piste nautique du capitaine Boyton*, avec montagnes russes aquatiques, supportées par de hautes charpentes en acier d'une grande légèreté.

A côté, le *ballon dirigeable* pourra, chaque jour, promener au-dessus de la ville vingt-cinq personnes. L'aérostat, en forme de cigare, de 17,50 *m* de diamètre et de 81,50 *m* de longueur, supportera une nacelle en bambou et en osier, avec armatures métalliques. Celle-ci est divisée en trois parties : à l'arrière, est un moteur électrique commandant une hélice et recevant le courant d'une génératrice installée à terre, par l'intermédiaire d'un conducteur métallique et d'un trolley glissant sur un câble aérien soutenu par des pylônes. Au milieu de la nacelle se tient le capitaine et son personnel; à l'avant, sont placés les voyageurs dans un salon à larges baies, leur permettant de voir le panorama qui se déroulera sous leurs yeux. La capacité de ce ballon est de 14 000 m^3

et sa force ascensionnelle de 9 800 *kg*. Il était encore en gonflement dans les premiers jours du mois de juin.

Un vaste terrain voisin est occupé par *Pawnee-bill* et son campement d'Indiens et de gauchos mexicains, qui s'exhibèrent, à Chicago, l'année dernière.

Le ballon dirigeable ne sera pas le seul moyen mis à la portée des visiteurs, pour voir l'Exposition à vol d'oiseau. On édifie, derrière les halles de l'industrie, un *château aérien*, qui doit être suspendu, à des hauteurs variant de 200 à 400 *m*, à un colossal ballon captif. Deux ascenseurs permettront au public d'y accéder. La construction en est actuellement fort peu avancée.

Quartier du Vieil-Anvers.

Le quartier du Vieil-Anvers est une reproduction fidèle d'une partie de la ville aux xve et xvie siècles. L'initiative en est due au peintre Van Kuyck, lequel s'inspira de l'idée qui a présidé à la reconstitution de l'ancienne Bastille, à Paris, en 1889; mais il a donné à cet évocation du passé une ampleur remarquable et il a conservé aux rues et aux bâtiments leur grandeur naturelle. Ce quartier comprend plus de soixante habitations et monuments disposés autour d'une place publique et de deux rues latérales. A l'extrémité de l'une d'elles se trouve une entrée de la ville avec ses fortifications, son corps de garde, sa herse et son pont-levis jeté sur un fossé plein d'eau.

On pénètre par la porte monumentale de Kipdorp, ornée en son fronton d'un cartouche représentant les armes de la ville : un château, aux tours crénelées, surmonté de deux mains coupées.

Devant nous est la tortueuse rue de la Bourse. Ces puits publics; ces enseignes, à demi effacées, grinçant au souffle du vent; ces lanternes à poulies avec leurs potences artistement forgées; ces fenêtres à meneaux avec leurs vitres jaunes ou vertes, enchâssées dans le plomb; ces frises et ces encadrements de portes aux sculptures naïves; ces statues religieuses, abritées dans des niches et qui rappellent le souvenir de l'occupation espagnole; tout contribue à nous donner l'impression mélancolique et saisissante que nous laisse une époque disparue. Dans les environs de la cathédrale et dans les vieux quartiers avoisinant l'Escaut, on peut voir encore des ruelles sinueuses qui ont partiellement conservé cette physionomie.

Les maisons ont leurs façades soit en bois, soit en briques, et

plus rarement en pierre. Leur hauteur est quelquefois considérable; l'une d'elles a même 22 *m*, avec cinq étages en encorbellement, formant une saillie d'environ 1,50 *m* sur le parement du rez-de-chaussée.

Les pignons donnent généralement sur la rue et, lorsqu'ils sont en maçonnerie, des redans silhouettent leurs arêtes, ainsi que dans la plupart des habitations d'architecture flamande. Il n'est pas besoin de dire qu'ici, la maçonnerie est factice et qu'elle est remplacée économiquement par une carcasse en bois, recouverte d'un hourdis de plâtre, ou bien de toile peinte, ou de staff, avec simulation de joints et application de motifs sculpturaux.

Toutes ces maisons sont meublées dans le caractère du temps; les sièges, les amphores, les chandeliers et tous les accessoires ont été copiés, avec l'exactitude la plus scrupuleuse, d'après des documents authentiques. Les habitations sont occupées par des boutiquiers, des bourgeois, des patriciens, en costumes du XVI[e] siècle. Les artisans, tels que sabotiers, cordonniers, orfèvres, confectionnent sous les yeux du public, avec des outils rudimentaires, des objets du style de la même époque et les hôteliers débitent même des boissons plus ou moins archaïques qui ont, tout au moins, un succès de curiosité.

Mais, nous voici à la Bourse. En 1858, les étrangers pouvaient encore admirer cet édifice respectable, qui fut détruit par un incendie, après 343 ans d'existence. Il était constitué par une cour rectangulaire, entourée d'une galerie portique dont les arcades surbaissées, en forme de trèfle, d'un style mi-partie gothique, mi-partie mauresque, étaient supportées par des colonnes à chapiteaux finement sculptés.

La nouvelle Bourse a été reconstruite, dans le style primitif, mais avec des proportions plus considérables. Les galeries ont été élargies et le hall recouvert d'une élégante charpente métallique vitrée.

Nous sortons de l'ancienne Bourse par une porte donnant sur la grand'place. On peut y voir le Marquisat, la maison de l'échevin, une chapelle gothique dont l'original est dans la ville, un vaste théâtre en plein air où se jouent, en vieux flamand, des farces et des mystères du moyen âge et où l'on donne des danses et des concerts de musique ancienne. Ensuite : l'ancien Hôtel de Ville, où les bourgmestres et le conseil communal reçoivent, escortés par les hallebardiers et par la milice, les étrangers de distinction et les délégations; puis le vieux Steen, un reste de la

plus ancienne partie d'Anvers, qui a servi de prison pendant des siècles. Ce monument existe près de l'Escaut; il a été restauré de nos jours et on y a installé un musée d'antiquités. Enfin, la Vieille Boucherie, bâtiment de style gothique, flanquée de tourelles octogonales, qu'on peut voir encore aujourd'hui non loin de l'Hôtel de Ville.

L'énumération complète des curiosités de ce coin du Vieil-Anvers serait un peu longue; qu'il nous suffise de dire, en terminant cet exposé rapide et bien incomplet, que l'artiste et surtout l'archéologue y trouveront un charme et un attrait qui font de cette réédification de la vieille cité l'un des clous de l'Exposition.

Les souvenirs brillants que nous a laissés celle de 1889, avec son cadre prestigieux, ne permettent d'établir aucune comparaison. Néanmoins, on peut retirer de cette visite d'utiles enseignements; l'on conserve une impression sympathique pour cet industriel pays de Belgique qui, en conviant les autres peuples à s'associer à cette manifestation du travail, contribue à consolider l'œuvre de progrès et de concorde internationale, dont nous espérons voir la réalisation complète en 1900.

COMPTE RENDU

DU

CONCOURS DES VOITURES AUTOMOBILES

PAR

M. G. COLLIN

Du 19 au 22 juillet ont eu lieu dans la banlieue de Paris et sur la route de Paris à Rouen les épreuves du concours de voitures automobiles organisé par le *Petit Journal*.

J'ai eu l'occasion de suivre ces épreuves et d'accompagner quelques-unes des voitures des principaux types présentés. J'ai pensé que, tout en laissant à de plus autorisés que moi le soin de traiter un jour ici la question des voitures automobiles, je pourrais donner un compte rendu sommaire de ce concours qui a mis en lumière les travaux de plusieurs de nos collègues.

I

Programme du concours.

Le concours, ouvert à tous les constructeurs et à tous les genres de propulseurs, avait pour but — je cite le texte même du programme — de récompenser la voiture sans chevaux qui remplirait la condition d'être, sans danger, aisément maniable pour les voyageurs, et de ne pas coûter trop cher sur la route. En d'autres termes, c'est sur la *sécurité*, la *commodité* et le *bon marché*, que devait porter le jugement des collaborateurs du *Petit Journal*.

L'organisation des épreuves était des plus simples :

1° Une épreuve éliminatoire de 50 *km* sur cinq routes rayonnant autour de Paris.

2° Une épreuve définitive : Paris-Rouen, 126 *km* environ.

Il a été bien établi qu'il s'agissait d'un concours et *non d'une course*. Pour qu'il n'y ait aucun doute à ce sujet, on exigeait des concurrents une vitesse moyenne de 12,500 *km* à l'heure, en comprenant dans le temps de parcours les arrêts nécessités par le moteur. Il ne devait être tenu aucun compte d'une vitesse supérieure à celle demandée.

Résultats du concours.

102 véhicules ont été inscrits au concours; on peut les classer de la façon suivante d'après la nature du moteur :

Pétrole	38
Vapeur	29
Électricité	5
Air comprimé	5
Divers	25
	102

Dans les divers sont compris les véhicules mus par le poids des voyageurs, un système de leviers, un système de pédales, la pesanteur, etc., qui, d'ailleurs, ne se sont pas présentés aux épreuves.

Les épreuves éliminatoires n'ont réuni que des véhicules à vapeur et à pétrole au nombre de 25.

La voiture électrique italienne du comte Carli entrée en France a, paraît-il, été retenue à la douane.

Sur ces 25 véhicules, 21 ont été admis à l'épreuve définitive : 14 à pétrole et 7 à vapeur.

Les 14 véhicules à pétrole appartenant à 7 constructeurs différents ont tous effectué dans de très bonnes conditions le parcours Paris-Rouen.

Sur sept voitures à vapeur, trois seulement ont effectué le parcours complet.

Le premier prix a été partagé entre les deux maisons :

Panhard et Levassor;

Les fils de Peugeot frères,

dont les véhicules à pétrole, sans réaliser encore complètement le rêve du touriste et du commerçant, répondent bien au desideratum du concours.

Les autres prix ont été donnés à :

MM. de Dion, Bouton et C[ie],

et Le Blant,

pour leurs véhicules à vapeur ;

MM. Vacheron,
Le Brun,
et Roger,

pour leurs véhicules à pétrole.

Un prix supplémentaire a été donné à M. Scotte pour son véhicule à vapeur qu'une avarie fortuite, la rupture d'un tube Field, a malencontreusement arrêté en route; une mention honorable a été accordée à M. Roger de Montais pour son tricycle à vapeur avec chauffage au pétrole.

Nous allons passer sommairement en revue les différentes solutions que ces constructeurs ont présentées du problème de la locomotion sur route.

Nous dirons ensuite comment ces véhicules se sont comportés au cours des épreuves.

Enfin les conclusions auxquelles le concours nous paraît donner lieu.

II

Voiture à pétrole Panhard et Levassor.

La voiture à pétrole de nos collègues MM. Panhard et Levassor conserve, dans son ensemble, l'aspect d'une voiture ordinaire; elle en diffère par l'application d'un moteur mécanique et par la direction, qui n'est point obtenue par la rotation d'un avant-train.

Véhicule. — L'essieu d'avant est solidaire du bâti et les roues pivotent autour de ses extrémités sur deux axes verticaux. Ce déplacement est commandé par l'intermédiaire d'un mouvement de sonnette au moyen d'une barre franche de direction.

Les roues sont en bois avec bandages en fer ou en caoutchouc.

Le véhicule porte deux réservoirs d'essence à la densité de 700/705, un à l'avant permettant de faire 80 *km*, l'autre dans un coffre complétant l'approvisionnement nécessaire pour un parcours de 300 *km*.

Carburateur. — Le mélange détonant est formé par un carburateur dans lequel un flotteur isole de la masse un volume de pétrole d'une épaisseur constante; l'air aspiré par le moteur se carbure en traversant cette hauteur d'essence. Il est débarrassé

par un déflecteur et des toiles métalliques, du pétrole liquide qu'il pourrait entrainer et passe ensuite par un robinet à trois voies dont la clé est à portée de la main du conducteur : dans ses deux positions extrêmes ce robinet donne passage seulement à l'air ou a l'air carburé; dans ses positions intermédiaires, il donne passage aux deux; par tâtonnements, on arrive à régler la proportion du mélange explosif, de façon à obtenir du moteur le maximum de travail.

La maison Panhard et Levassor cherche à rendre ce réglage automatique; à cet effet, elle a mis à l'essai un carburateur dont voici le principe : deux chambres sont juxtaposées : la première reçoit l'essence dont le niveau reste constant; la seconde est une chambre à air qui communique avec le moteur. Un tube métallique issu de la partie inférieure de la chambre à pétrole pénètre verticalement dans la chambre à air et se termine par un ajutage. Sa hauteur est telle que l'essence monte à quelques millimètres de la section libre. Le moteur établit dans cette chambre une dépression; un jet de pétrole sort par l'ajutage, est entrainé par l'air qui se carbure en pénétrant dans les régions chaudes du voisinage des cylindres. Il suffit de déterminer une fois pour toutes la section de l'ajutage pour obtenir un réglage automatique.

Ce carburateur était appliqué, je crois, à la voiture qui portait au concours le n° 15 et dont la marche, nous le verrons tout à l'heure, a été des plus remarquables.

Moteur. — Le moteur du type Daimler est à deux cylindres dont les axes sont dans un même plan vertical et font avec la verticale, un angle d'environ 15°. La course descendante motrice d'un piston coïncide avec la course descendante d'aspiration de l'autre; il n'y a ainsi qu'une seule manivelle motrice dont les flasques circulaires servent de volant. La tige de distribution est commandée par un galet qui se déplace dans les rainures d'une des flasques. La manivelle est enfermée dans une boite parfaitement close et est lubrifiée par le graissage en excès des cylindres. L'allumage est produit par des tubes de platine rendus incandescents par des brûleurs au pétrole; le réservoir d'alimentation de ces brûleurs se remplit automatiquement quand on remplit le carburateur.

Un régulateur ralentit le moteur, s'il y a lieu, en empêchant l'échappement des produits de la combustion.

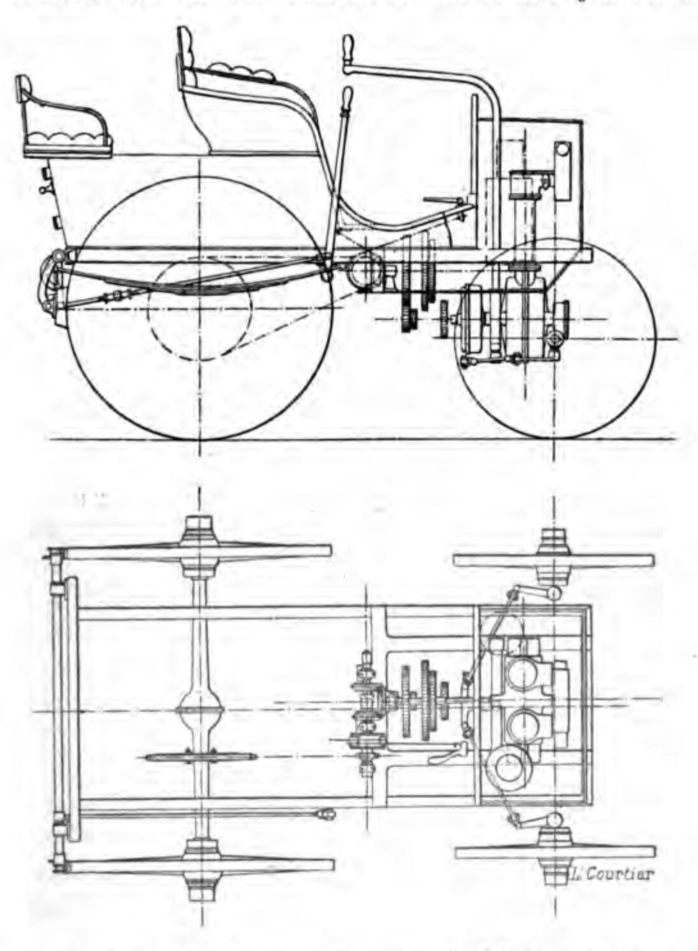
Un ralentisseur à portée de la main du conducteur permet de

modérer la marche du moteur en agissant également par la tige de distribution sur l'échappement.

Les cylindres sont refroidis par une circulation d'eau : un réservoir d'environ 35 *l* est disposé à cet effet; une pompe centrifuge envoie l'eau des enveloppes se refroidir dans un condenseur placé sous le véhicule, ce qui permet de ne renouveler l'approvisionnement qu'au bout de trois ou quatre heures.

Transmissions (fig. 1). — Le moteur marche à une vitesse d'environ 750 tours.

La transmission du mouvement se fait de la façon suivante :



l'arbre moteur est réuni par embrayage à friction à un second arbre longitudinal disposé en prolongement et qui porte les

pignons d'engrenages des différentes vitesses ; au-dessus se trouve un troisième arbre longitudinal portant les roues d'engrenages correspondantes ; celui-ci transmet le mouvement par engrenage d'angle à un arbre transversal relié à l'essieu d'arrière par chaîne Galle.

L'embrayage à friction a été étudié de manière à agir progressivement, et, par suite, à éviter les secousses aux démarrages et changements de vitesse. A cet effet, chacune des deux parties, mâle et femelle, se compose de deux cônes de même axe, le cône extérieur à angle aigu, le cône intérieur à angle de 45°. Sur la partie mâle, le cône intérieur est appuyé par des ressorts sur le support du cône extérieur. Quand on commence à embrayer, les deux cônes intérieurs se mettent d'abord au contact et leur frottement suffit pour entraîner l'arbre et donner une vitesse de 5 à 6 *km* ; quand l'embrayage est complet, les cônes extérieurs sont au contact.

Au débrayage, le même effet se produit en sens inverse.

J'ai pu constater que cet embrayage présentait un excellent fonctionnement.

La transmission par engrenage d'un arbre longitudinal à l'autre a pour but de faire donner au moteur son maximum de travail à des vitesses différentes du véhicule. Il y a ordinairement quatre ou cinq jeux d'engrenages correspondant à un même nombre de vitesses.

La transmission par engrenages d'angle à l'arbre transversal donne la marche en avant ou en arrière. A cet effet, l'arbre porte deux roues toujours en prise avec le pignon ; un manchon mobile permet de caler sur l'arbre l'une ou l'autre des deux roues.

Une seule chaîne Galle relie cet arbre à l'essieu d'arrière muni du mouvement différentiel qui réalise l'indépendance des deux roues dans les virages. Deux tiges avec écrous de réglage maintiennent constant l'écartement de l'essieu d'arrière et de l'arbre transversal, malgré la flexion des ressorts, et empêchent la chaîne de sauter.

Commande des organes. — La commande des différents organes est placée à la main du conducteur : il a à sa gauche la barre de direction ; devant lui, le robinet à trois voies réglant l'arrivée d'air carburé, et le ralentisseur ; à droite le levier de la marche avant ou arrière, celui des vitesses et celui du frein à main ; aux pieds la pédale de débrayage et celle du frein à corde qui agit sur une poulie calée sur l'essieu d'arrière, pour ne pas endom-

mager les bandages quand ils sont en caoutchouc. La pédale et le levier des freins sont disposés de façon à débrayer le moteur avant l'application du frein, au cas où le conducteur, surpris, n'aurait pas pris la précaution de le faire.

Conduite. — Le graissage est particulièrement facile : un graisseur continu à débit visible assure le graissage des cylindres et aussi de la manivelle motrice et de la distribution, ainsi que nous l'avons dit plus haut. Les transmissions et les fusées sont munies de graisseurs à graisse qu'il suffit de resserrer.

Avant le départ, on allume les brûleurs et on met le moteur en mouvement au moyen d'une manivelle, tout en réglant l'arrivée de l'air carburé : cinq minutes environ sont nécessaires pour ces opérations de graissage et mise en train.

En marche, un arrêt toutes les trois ou quatre heures est suffisant pour renouveler l'eau de refroidissement des cylindres et passer une visite rapide du mécanisme.

A l'arrivée, il suffit de fermer l'introduction d'air carburé, d'éteindre les brûleurs et de verser quelques gouttes de pétrole dans les cylindres pour empêcher l'encrassement.

Puissance. — Les moteurs des différents types de véhicules ont une puissance qui varie entre 250 et 280 *kgm*, soit 3,3 à 3,7 *ch*. Le poids de la voiture varie entre 500 et 700 *kg* suivant le nombre de places; une voiture à quatre places, avec son approvisionnement complet et ses quatre voyageurs comptés à 70 *kg* chacun, pèse donc près d'une tonne (250 *kg* par voyageur).

La dépense varie suivant le profil et l'état des routes; en moyenne, elle est d'un litre d'essence pour 10 à 12 *km*, ce qui représente une dépense kilométrique de 0,05 *f*.

Voiture à pétrole Peugeot.

La maison « les fils de Peugeot frères » utilise pour ses véhicules le moteur Daimler et l'embrayage par friction de la maison Panhard et Levassor.

La construction du véhicule est toute différente : le véhicule Peugeot est un quadricycle : le bâti est en fer creux; les roues ont les rayons en acier et le roulement à billes. La pratique montrera si ces roues ne sont pas plus sujettes à avaries sur les routes que les roues en bois. Le roulement à billes paraît notablement

supérieur au roulement ordinaire et il doit en résulter, à puissance égale du moteur, une augmentation de la charge utile.

Le moteur est plus généralement placé à l'arrière; cette disposition présente l'avantage de supprimer toute odeur pour les personnes qui occupent la voiture; elle a l'inconvénient d'exposer le moteur à la poussière et de mettre moins à portée de la main du conducteur la commande de l'arrivée d'air carburé.

Voiture à vapeur de Dion et Bouton.

La solution présentée par MM. de Dion et Bouton est toute différente des précédentes non seulement parce qu'ils recourent à la vapeur d'eau, mais surtout à cause de la position du moteur. Celui-ci, en effet, ne se trouve pas incorporé dans le véhicule; il le précède. La voiture 4, qui a brillamment subi l'épreuve Paris-Rouen, n'est pas, à proprement parler, une voiture automotrice : c'est une victoria remorquée par une petite locomotive routière qui se substitue à l'avant-train et au cheval de la voiture ordinaire.

Un moteur de cette nature peut être appliqué à tous les véhicules et peut être employé dans des conditions de marche très différentes, suivant qu'il travaille en vitesse ou en charge. La solution présentée par MM. de Dion et Bouton est donc à la fois très générale et très intéressante.

Leur locomotive pèse à vide 1,8 *t*; elle doit peser en charge environ 2,5 *t* et peut développer, paraît-il, jusqu'à 20 *ch*. Elle repose sur quatre roues; les deux d'avant servent à la direction et sont garnies de caoutchouc par bandes séparées d'environ 0,25 *m* de long sur 15 *mm* d'épaisseur; les deux roues d'arrière sont motrices et garnies de bandages en fer.

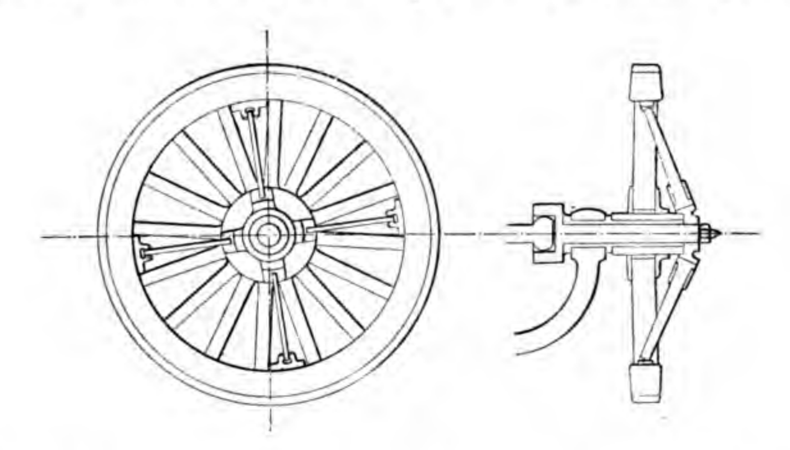
Chaudière. — La chaudière à tubes rayonnants du système de Dion, Bouton et Trépardoux est placée à l'avant; elle contient 280 *l* d'eau et est timbrée à 14 *kg*; le chargement de la grille se fait par la partie supérieure de la chaudière; l'alimentation est assurée par deux pompes. Cette chaudière très généreuse, paraît-il, permet au moteur de donner de remarquables coups de collier. Les caisses à combustible entourent la chaudière et ont un approvisionnement suffisant pour 100 *km*. Les caisses à eau renferment un approvisionnement pour 30 à 40 *km* et sont placées sous le siège où se tiennent le conducteur et le chauffeur.

Moteur. — La machine à vapeur placée à l'arrière sous la plate-forme de l'attelage est une machine compound à deux cylindres dont les diamètres respectifs sont 0,12 et 0,18 *m* sur 13 de course. Les cylindres sont séparés par le réservoir intermédiaire. Un graisseur Consolin assure un graissage continu.

Le mécanisme a été réduit à la plus grande simplicité par la suppression de la détente variable et du changement de marche.

Par la manœuvre d'un levier on peut du même coup envoyer la vapeur de la chaudière dans le cylindre BP et la vapeur d'échappement du cylindre HP dans la cheminée placée sous le véhicule. L'échappement se fait par une tuyère fixe.

Transmissions (fig. 2). — Le mouvement est transmis, avec réduction de vitesse, non à l'essieu, mais à la jante des roues motrices, par un dispositif spécial qui a pour but de supprimer à la fois la fatigue des rayons des roues, l'emploi de la chaine Galle et les inconvénients de l'application du poids du véhicule sur l'essieu par l'intermédiaire de coussinets. Le moyeu de la roue tourne sur les fusées de l'essieu qui est fixe et fortement coudé;



les fusées sont creuses pour permettre le passage de l'arbre de transmission; celui-ci reçoit le mouvement par la couronne dentée du différentiel et présente quatre rotules permettant la flexion en tous sens. Ses extrémités sont reliées directement à la jante de chacune des roues, extérieurement au moyeu, par quatre rayons en fer forgé, disposés en croix.

Une expérience prolongée montrera si cette disposition, d'ailleurs très originale, ne présente pas d'inconvénients du même

ordre que ceux auxquels, dans l'idée de ses auteurs, elle est appelée à remédier.

La suppression de la chaîne de Galle a été réalisée également par deux de nos collègues, MM. Varennes et Gaillardet dans leur voiture à vapeur : leur solution consiste à munir d'une sorte de suspension à la Cardan, la couronne dentée du différentiel. La pratique a démontré que ce dispositif relativement simple était très satisfaisant. Il est regrettable que cette voiture n'ait point été présentée aux épreuves du concours, car les détails de construction en sont très remarquables.

Voiture à vapeur Le Blant.

Le véhicule Le Blant est une tapissière dont la moitié avant, seule, est utilisée par les voyageurs; ceux-ci occupent trois banquettes transversales de trois places chacune.

La seconde moitié du véhicule est séparée de la première par l'approvisionnement d'eau qui forme une cloison destinée à absorber la chaleur rayonnante. Elle renferme le générateur, placé sur l'essieu d'arrière fortement coudé et une plate-forme occupée par le chauffeur sous laquelle se trouve le moteur.

La direction est réalisée par un avant-train de voiture ordinaire dont le cercle mobile porte une denture verticale; la rotation est obtenue par un pignon que commande un volant à la main du conducteur; la voiture peut virer sur une des roues d'arrière.

Générateur Serpollet. — Le générateur, du système Serpollet, se compose d'un four en briques refractaire renfermant trente-six éléments en acier doux : six rangées de six disposées en quinconce. La grille présente un vide égal au plein.

Moteur. — Le moteur est à trois cylindres, tous trois à HP placés horizontalement et attaquant le même arbre par trois manivelles à 120°. Cet arbre porte un pignon qui commande la couronne du différentiel d'un arbre intermédiaire relié par chaînes Galle aux moyeux des roues d'arrière. Celles-ci sont à rais croisés et tournent sur les fusées d'un essieu fixe.

Les tiroirs sont légèrement inclinés sur l'axe des cylindres et donnent une admission fixe de 60 0/0; le moteur ne permet que la marche avant; les tiroirs et pistons sont graissés en marche au moyen d'un compresseur à main, manœuvré par le chauffeur.

Commande. — Le conducteur a pour la manœuvre de la voiture : à portée de la main, le levier de la pompe d'injection d'eau, spéciale à la mise en marche, le volant de la direction, le volant d'un frein à vis; aux pieds, deux pédales : une pour la commande du frein à corde, l'autre pour la soupape de circulation d'eau destinée à proportionner la vaporisation au travail du moteur.

Il a sous les yeux un manomètre.

Le chauffeur a les trappes du cendrier, l'échappement variable et le graisseur à manœuvrer.

Il peut communiquer avec le conducteur au moyen d'un porte-voix.

A priori cette séparation du chauffeur et du conducteur et le défaut d'entente qui doit en résulter constituent le point faible du véhicule. Au moment où le moteur doit donner un coup de collier, il ne suffit pas que le conducteur cherche à faire monter la pression en envoyant un excès d'eau dans les éléments, il est nécessaire que le feu soit en état de soutenir cette vaporisation plus intense ; or, le conducteur n'a aucune indication sur ce point.

Nous verrons que l'expérience a justifié cette manière de voir.

Le poids total du véhicule est de 3 600 *kg*, y compris 600 *kg* d'eau et 200 *kg* de charbon. On peut y placer neuf ou dix voyageurs. En comptant 70 *kg* pour chacun d'eux, on arrive au poids de 430 *kg* par place occupée.

Voitures à pétrole Vacheron-Lebrun.

MM. Vacheron et Lebrun n'ont apporté que des modifications de détail à des voitures munies du moteur Daimler.

Le jury les a cependant jugées suffisantes et a décerné un prix à leurs auteurs.

Voiture à pétrole Roger.

Plus intéressant est le véhicule à pétrole de M. Roger qui n'emploie pas le moteur Daimler, adopté par les autres concurrents.

Véhicule. — Le véhicule à quatre places, d'une carrosserie légère et soignée, d'une grande stabilité, se conduit facilement grâce au groupement rationnel des appareils de commande. Il ne présente qu'une trépidation très faible, ce qui semble tenir à ce que le moteur est placé horizontalement à l'arrière, et aussi à l'excellente suspension de l'essieu d'avant.

Ce dernier supporte d'ailleurs un faible poids; aussi la direction est-elle très douce; elle est commandée par une manivelle munie d'un index se déplaçant sur un disque fixe.

Moteur. — Le moteur, de 3 *ch*, est à un seul cylindre avec inflammation électrique; la mise en train est obtenue par rotation du volant, ce qui est assez pénible. Le mouvement est transmis à un arbre intermédiaire par courroies avec jeux de poulies donnant seulement les deux vitesses extrêmes de 5 et 20 *km*; les autres vitesses sont obtenues par variation du mélange gazeux. L'arbre intermédiaire est relié aux roues d'arrière par deux chaines de Galle sans qu'aucune précaution ait été prise pour éviter leur déplacement.

Cette transmission par courroies et chaines Galle et l'écart entre les deux vitesses extrêmes auxquelles le moteur donné son maximum de travail sont deux points faibles du véhicule.

Voiture à vapeur Scotte.

La voiture à vapeur de M. Scotte est destinée à transporter dix à douze personnes; elle est montée sur quatre roues robustes, avec moyeux en bronze; elle pèse, à vide, 1,680 *t*, supporte deux réservoirs d'eau de 350 *l* et une soute à charbon contenant l'approvisionnement d'une journée de parcours, environ 300 *kg*. Par place occupée, c'est donc un poids de 295 à 340 *kg*.

La vapeur est fournie par une chaudière Field placée à l'avant, alimentée au moyen d'une pompe et d'un injecteur; l'eau est réchauffée par la vapeur d'échappement.

Le moteur est à deux cylindres et donne la marche en avant ou en arrière.

La vitesse du véhicule peut être en palier de 40 kilomètres; la dépense kilométrique varie en 0,06 *f* et 0,08 *f* à charge complète.

Le conducteur et le chauffeur sont tous deux placés à l'avant; le chauffeur peut donc être supprimé dans de petits parcours. D'un mécanisme simple, d'une construction robuste et d'une direction facile, la voiture de M. Scotte peut rendre de réels services pour des transports d'un nombre élevé de voyageurs.

Tricycle à vapeur Roger de Montais.

M. Roger de Montais a conduit lui-même aux épreuves un tricycle qui donne une solution très élégante de la locomotion à vapeur puisqu'il supprime le principal inconvénient : la manipulation du combustible; le charbon est remplacé par le pétrole.

Sur un tricycle extrêmement léger sont placés : à l'avant, derrière la roue de direction, la chaudière; à l'arrière, derrière le siège, un petit moteur à vapeur à deux cylindres.

La chaudière, chauffée par des brûleurs au pétrole, dont l'action peut être réduite en stationnement, est timbrée à 7 *kg*. Le levier d'une valve permet de régler le passage de la vapeur de la chaudière dans les cylindres. L'alimentation se fait par pompes. La direction est commandée par une poignée placée à droite du siège.

Très léger et par suite relativement puissant, ce petit véhicule se met rapidement en vitesse et s'y maintient sur les rampes. Il n'a malheureusement pu accomplir le trajet total de Paris à Rouen et faire triompher l'idée très personnelle de son auteur.

III

Épreuves du Concours.

Nous allons voir maintenant comment ces différents véhicules se sont comportés au cours des épreuves.

Bien que la vitesse n'ait occupé qu'une place effacée dans le programme du concours, elle n'en est pas moins un élément capital pour apprécier la valeur d'un véhicule; aussi avons-nous recherché quelles ont été :

1° Les vitesses réelles grâce auxquelles on peut juger de la puissance du moteur et de son élasticité.

2° Les vitesses moyennes de marche qui montrent ce que l'on peut attendre des véhicules dans la pratique.

3° Les vitesses commerciales qui caractérisent leur facilité de conduite, la délicatesse du mécanisme puisque sa valeur décroît quand les arrêts nécessités par l'entretien des organes sont plus fréquents et plus longs.

Paris-Mantes. — La route de Paris à Rouen, sur laquelle avait lieu l'épreuve définitive, serait des plus faciles de Paris à Mantes

s'il n'y avait le mauvais pavé de la banlieue de Paris; comme côte, il n'y a que celle du Pecq à Saint-Germain.

Dès le départ de la Porte-Maillot, la voiture à vapeur de MM. de Dion et Bouton, portant le numéro 4, à laquelle le sort avait donné la première place, prenait la tête.

Partie à 8 heures, elle arrivait à Mantes à 11 heures, franchissant en trois heures les 52 *km* de Paris à Mantes par Saint-Germain et Meulan. Elle était suivie de près par les voitures 65 (Peugeot) 15 et 13 (Panhard et Levassor).

Ces quatre véhicules ont donc franchi 52 *km* à la vitesse commerciale de 17 *km* 1/3 à l'heure. Si l'on tient compte de deux arrêts prévus par le concours dans la forêt de Saint-Germain et à Meulan pour permettre aux membres du jury de changer de véhicule, on obtient une vitesse moyenne de marche de 20 *km* à l'heure.

Mantes à Rouen. — De Mantes à Rouen, le profil présente plusieurs côtes, aux points où la route évite les boucles de la Seine : une côte assez courte au *km* 62 entre Rolleboise et Bonnières, ensuite une série de côtes dures entre Gaillon et Vaudreuil; enfin une dernière côte entre Pont-de-l'Arche et Rouen.

Près de Léry un peu avant Pont-de-l'Arche, la route avait été tout récemment empierrée et non cylindrée et le passage en a été pénible pour tous les véhicules.

Enfin, la voiture numéro 4 prit une fausse direction à Igoville et dut revenir sur ses pas non sans quelques difficultés.

Malgré cela, cette voiture à vapeur franchissait la distance de Mantes à Rouen (76 *km* environ) en 4 heures 10 minutes, ce qui donne une vitesse commerciale de 18 *km* à l'heure; la vitesse moyenne entre Mantes et Vernon sur une partie très facile du profil avait été de 24 *km* à l'heure (22 *km* franchis en 55 minutes).

Les voitures 65 et 28 (Peugeot) qui, il est vrai, n'avaient pas perdu de temps à Igoville, présentent des vitesses peu différentes de celle de la voiture 4.

La voiture 13 (Panhard et Levassor) et la voiture 31 (Peugeot) ont franchi la distance Mantes-Rouen à une vitesse commerciale de près de 17 *km*. La vitesse moyenne de marche entre Vernon et Gaillon (profil facile) avait été de 21 *km* à l'heure, entre Gaillon et Rouen (profil accidenté) de 17 *km* à l'heure.

La voiture 15 (Panhard et Levassor), partie de Mantes avec une heure de retard, à 2 h. 30 m, arrivait à Rouen à 6 h. 30 m, gagnant

10 minutes sur la marche de la voiture 4, ce qui donne pour un parcours de 76 *km* une vitesse commerciale de 19 *km* à l'heure.

Vitesses moyennes de marche et commerciales. — En résumé, les voitures de MM. de Dion, Panhard et Peugeot ont présenté des vitesses commerciales supérieures à 17 *km* à l'heure et des vitesses moyennes de marche supérieures à 20 *km* à l'heure. Les vitesses commerciales sont relativement élevées par suite du peu d'arrêts exigés par les moteurs. La plupart des véhicules ont effectué en effet jusqu'à des parcours de deux heures sans arrêts. Pour la voiture 13 en particulier, la durée totale des arrêts nécessités par le moteur (eau, graissage, etc.) a été de 20 minutes seulement.

Vitesses réelles. — Quant aux vitesses réelles de marche, nous avons dit précédemment que les véhicules à pétrole étaient généralement étudiés pour trois ou quatre vitesses.

La voiture 13 Panhard avait les 4 vitesses de 6, 12, 18, 24 *km* h.
— 15 — 3 — 7, 16, 25 *km* à l'h^re^
— 31 Peugeot avait les 4 — 5, 9, 15, 22 —

Les côtes de Saint-Germain, Rolleboise et Gaillon, qui ont une inclinaison voisine de $\frac{1}{10}$ ont été franchies à la vitesse minima; les autres côtes aux vitesses intermédiaires; les paliers à la vitesse maxima.

La voiture 31 (Peugeot), avec quatre voyageurs et un conducteur, a soutenu sur un grand nombre de kilomètres en palier la vitesse de 22,5 *km* à l'heure, relevée très exactement au tachymètre.

La voiture 15 (Panhard), donnait exactement les vitesses de 7,400 *km*, 17,500 *km*, 26,660 *km*.

Sur les pentes on a constaté des vitesses notablement supérieures à celles-là; cependant la stabilité et la direction des véhicules restaient excellentes.

La voiture à vapeur n° 4 a soutenu, en palier, une vitesse de 30 *km*; c'est surtout à la montée des côtes qu'elle s'est montrée supérieure aux voitures à pétrole pour la vitesse : les côtes de $\frac{1}{10}$ ont été franchies entre 10 et 20 *km* à l'heure.

Les voitures à pétrole Vacheron, Lebrun et Roger, ont fourni des parcours moins brillants, mais très satisfaisants encore.

La voiture Le Blant, avec ses dix voyageurs, a effectué le parcours de Paris-Mantes en quatre heures, à une vitesse commer-

ciale de 13,250 *km* à l'heure. Malgré la puissance du moteur, les montées ont été pénibles et plusieurs fois il fallut attendre au pied des côtes que le feu fût suffisamment en état pour permettre de les franchir. Au défaut d'entente entre le conducteur et le chauffeur, indiqué précédemment, il faut joindre, comme cause de ces pertes de temps, l'inconvénient de la position que le chauffeur est obligé d'occuper : placé à l'arrière, il est incommodé à la fois par la chaleur et la poussière.

La voiture à vapeur de M. Scotte, arrêtée à Gaillon par la rupture d'un tube Field, avait eu le temps de montrer des qualités de robustesse et de puissance qui justifient le prix supplémentaire accordé à son constructeur.

Moins heureux dans l'épreuve définitive que dans l'épreuve éliminatoire brillamment subie, le tricycle à vapeur de M. de Montais n'a pu dépasser Vernon, à cause d'une avarie du mécanisme.

D'une façon générale, ces voitures automotrices ont démontré que, sur route, la traction mécanique et la vitesse n'étaient point incompatibles avec le bien-être des voyageurs; tous ceux qui ont pris place dans ces véhicules ont reconnu les qualités du roulement et de la direction.

On pourrait croire que les vitesses dont nous venons de donner les chiffres se présentent seulement dans un concours et n'ont qu'un rapport très éloigné avec ce qui se passe dans la pratique courante. Il n'en est rien et une expérience personnelle nous a appris que sur des parcours de 80 *km*, la voiture à pétrole pouvait fournir sans aucune difficulté des vitesses commerciales supérieures à 15 *km* à l'heure.

IV

Conclusions.

Les détails qui précèdent montrent que la plupart des voitures automobiles qui se sont mises en ligne possèdent des qualités très sérieuses.

Il faut bien reconnaître, en effet, que l'épreuve définitive du concours était des plus sévères, et dire d'un véhicule qu'il l'a subie avec succès, qu'il a franchi les 126 *km* de Paris à Rouen, à belle allure, avec des arrêts insignifiants, c'est le plus grand éloge qu'on en puisse faire.

D'une façon générale, les détails sont particulièrement soignés et donnent au véhicule, autant que le permet le type du moteur, la commodité que le concours avait pour but de rechercher : nous avons fait remarquer en passant les graisseurs continus pour les cylindres, les graisseurs à graisse pour les transmissions et les essieux, la réduction du mécanisme de distribution dans les voitures à vapeur; nous avons montré que des simplifications nouvelles étaient à l'étude : le carburateur automatique de MM. Panhard et Levassor par exemple. Aussi la supériorité à attribuer à l'un ou l'autre type dépend-elle absolument du point de vue où l'on se place.

Si l'on s'en tient au programme du *Petit Journal*, si l'on cherche la voiture aisément maniable par les voyageurs, il n'est guère possible d'hésiter; la voiture à pétrole a bien quelques légers inconvénients :

En stationnement, une trépidation peu agréable, mais qui disparait presque totalement en marche dès que la vitesse intervient; une légère odeur de pétrole qu'il parait d'ailleurs facile d'éviter ou du moins d'atténuer; enfin une certaine faiblesse à la montée des côtes. Mais elle présente le grand avantage de ne point exiger la présence d'un mécanicien, de demander peu de soins avant le départ et à l'arrivée, de n'en demander aucun sur la route, seulement un peu d'attention de la part du conducteur qui arrive à surveiller instinctivement de l'oreille le fonctionnement du moteur.

Avec la voiture à vapeur, il faut sur la route un travail constant; il est indispensable d'avoir un chauffeur pour assurer l'alimentation de la chaudière en eau et en combustible.

Cette comparaison est tout à l'avantage de la voiture à pétrole dont la supériorité s'impose pour la promenade et les affaires.

Il faut noter pourtant que la solution de M. de Montais supprime dans la voiture à vapeur la partie la plus ennuyeuse du travail : le chargement de la grille. Il ne serait pas surprenant que l'on obtînt dans cette voie des résultats très pratiques.

Au contraire, si l'on envisage d'une manière tout à fait générale le problème de la locomotion mécanique sur routes, la voiture à pétrole ne donne actuellement qu'une solution incomplète et c'est au moteur à vapeur qu'il faut recourir si l'importance des transports à effectuer exige un travail notable. Ainsi la remorqueuse de MM. de Dion et Bouton, dont nous avons indiqué la puissance de 20 *ch*, paraîtrait mieux à sa place en tête d'un véhicule cons-

truit pour un grand nombre de voyageurs, qu'en avant d'une victoria, la plus légère des voitures.

Le choix entre l'une ou l'autre des deux forces motrices auxquelles les concurrents ont fait appel doit donc être dicté surtout par les conditions particulières auxquelles on a à satisfaire.

Il serait téméraire de préjuger de l'avenir et d'affirmer que le pétrole ou la vapeur donnera un jour la solution parfaite que nous souhaitons.

Quoi qu'il en soit, pour faciliter les études futures, il est un point qu'il serait dès maintenant utile d'élucider. Nous avons vu les différents véhicules du concours munis, les uns de roues avec bandages en caoutchouc, les autres de roues avec bandages en fer; les uns de roulements à billes, les autres de frottements lisses. Nous avons constaté des réductions de vitesses très sensibles sur des routes moins bien entretenues ou détrempées. Il serait intéressant d'être fixé sur les valeur que prend, dans ces conditions diverses, la résistance du véhicule.

Réduire au minimum cette résistance est le moyen le plus économique d'augmenter le travail utile.

Rappelons, en terminant, que la première voiture à vapeur fut construite en France par Cugnot, en 1769.

Après plus d'un siècle d'oubli auquel la locomotion sur rails l'a condamnée, la locomotion mécanique sur routes a reparu chez nous dans ces dernières années.

Au moment où elle commence à s'y développer, nous devons être heureux de constater que l'idée première, émise en France, n'est pas allée, comme tant d'autres, éclore à l'étranger. Nous devons aussi nous féliciter de l'initiative prise par le *Petit Journal*: le concours qu'il a organisé a été un encouragement précieux pour les constructeurs, dont il a mis en évidence les persévérants travaux, et nous lui devrons peut-être de voir paraître à bref délai la voiture automotrice idéale.

CHRONIQUE

N° 176

SOMMAIRE. — Le paquebot-poste belge *Marie-Henriette (suite et fin)*.— Transmissions électriques dans les usines *(suite et fin)*. — Consommation de vapeur des pulsomètres. — Emploi de l'air comprimé pour le sauvetage des navires. — Le plus grand pont de l'Allemagne.

Le paquebot-poste belge *Marie-Henriette* *(suite et fin)*. — L'appareil moteur du paquebot est du type compound, avec deux cylindres inclinés placés parallèlement l'un à côté de l'autre. Ils sont à l'arrière de l'arbre des roues. La disposition générale est celle qui est adoptée depuis longtemps par la Société Cockerill pour les machines de ce genre.

Le cylindre à haute pression a 1,524 *m* et le cylindre à basse pression 2,743 *m* de diamètre, la course est pour les deux de 2,134 *m*. La base de ces cylindres est parallèle à leur axe et elle est boulonnée sur une pièce triangulaire en acier coulé qui est elle-même fixée sur les carlingues de fondation. Les cylindres ont leur fond supérieur venu de fonte, mais ce fond porte un plateau rapporté formant le presse-étoupes et ce plateau constitue en même temps un trou d'homme. Lorsqu'on l'a démonté, il suffit de le tirer à l'extérieur sur la tige du piston pour qu'on puisse aborder l'intérieur du cylindre.

Il y a une soupape de sûreté de 0,13 *m* de diamètre sur le fond supérieur, et une semblable sur le plateau inférieur; ces soupapes sont chargées par des ressorts. Les pistons sont en acier coulé, ils sont de forme conique. La garniture se compose d'un seul anneau en fonte très large pressé par des ressorts plats. A la partie inférieure il n'y a pas de ressorts et le poids du piston est supporté par le cercle par l'interposition d'une cale serrée par une vis. Les ateliers de Seraing emploient avec succès cette disposition pour toutes leurs grandes machines horizontales.

Les tiges de piston en acier forgé ont 0,26 *m* de diamètre; leurs presse-étoupes sont à garnitures métalliques. Les traverses, également en acier forgé, ont deux tourillons pour recevoir les deux branches de la bielle et leurs extrémités sont boulonnées à des pièces en U en acier forgé, qui embrassent les guides et pressent les coulisseaux en fonte garnis de métal blanc par l'intermédiaire de vis de réglage. On peut obtenir ainsi un portage parfait des coulisseaux sur les glissières. On trouvera les dessins détaillés de cette disposition et ceux de tout le mécanisme dans le numéro du 24 mars 1894 du *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*.

Voici la disposition générale du bâtis. Il y a une plaque de fondation très peu élevée qui forme le prolongement vers l'arbre de la pièce trian-

gulaire placée sous les cylindres dont nous avons parlé. Sur cette plaque s'élèvent, sous l'arbre, quatre bâtis parallèles dans le sens de la largeur, dont les grands paliers forment la partie supérieure. Ces bâtis, en acier coulé, sont à nervures et évidés par place. A l'avant, ils portent un appendice qui vient se boulonner à un fort barrot pour transmettre la poussée à la coque du bateau. A l'arrière, et se dirigeant obliquement vers le haut, est un autre appendice également rapporté, qui supporte les paliers des coulisses de la distribution Walschaerts.

Les deux boulons de serrage de chaque palier disposés parallèlement à l'axe des cylindres traversent tout le bâtis dont nous venons de parler et fixent contre lui, par une large patte, un tirant en acier forgé qui forme guide pour les traverses de pistons et dont l'autre extrémité se boulonne par une patte sur une forte console venue de fonte sur chaque côté des cylindres. Il y a, bien entendu, autant de ces tirants que de bâtis, soit quatre en tout. Ces tirants ont la forme d'un double T dans la partie où ils servent de guides et la forme cylindrique dans la partie qui est entre celle-ci et les paliers. L'ensemble de la machine constitué par la plaque de fondation, les cylindres, les bâtis verticaux et les tirants forme un tout indéformable, relativement léger, et d'une disposition heureuse. Le condenseur à surface de forme cylindrique, à axe horizontal, est placé sous les guides avec la pompe à air verticale à l'avant, mue par un balancier d'équerre dont le bras vertical reçoit par une bielle le mouvement de la traverse du piston.

L'arbre à manivelles est en acier forgé, il est creux et divisé en trois parties, son diamètre extérieur est de 0,500 *m*. La partie centrale porte une manivelle à chaque extrémité, les deux calées à angle droit l'une de l'autre, les parties extrêmes portent à une extrémité une manivelle, et à l'autre un plateau venu de forge, servant à les réunir aux arbres porte-roues. Les portées ont le même diamètre, 0,500 *m*, que le corps et une longueur de 0,750 *m*. Les paliers ont leurs coussinets en acier coulé garni de métal blanc. Le coussinet inférieur a une forme circulaire, de sorte qu'en le faisant tourner on peut le sortir sans enlever l'arbre. Les chapeaux sont en acier forgé. Les boutons de manivelles ont 0,50 *m* de diamètre et 0,60 *m* de longueur et sont également creux ; ils sont venus de forge avec les deux manivelles qu'ils réunissent.

Les bielles motrices ont 4,260 *m* de longueur, et 0,26 *m* de diamètre minimum, elles sont en acier forgé. La partie inférieure est, comme on l'a vu, à fourches, et ces fourches portent des coussinets en bronze. La grosse tête a ses coussinets en acier coulé avec garniture en métal blanc et disposés comme ceux des grands paliers.

La distribution de la vapeur dans les cylindres se fait, pour la haute pression, par un tiroir cylindrique placé à la partie supérieure et, pour la basse pression, par un tiroir plan à double orifice, divisé en deux parties logées dans une boite commune. Cette division en deux pour des surfaces très longues réduit les chances de gauchissement de ces surfaces sous l'action de la chaleur.

Les tiges de tiroirs ont leur tête guidée par une coulisse fixée à un bâtis triangulaire porté par le cylindre. Le mouvement est, comme nous l'avons dit, du type Walschaerts. Les excentriques qui actionnent les

coulisses sont calés sur l'arbre entre la manivelle et le palier ; les coulisses à deux flasques sont portées par des petits bâtis boulonnés sur les grands au-dessus des grands paliers; les leviers d'avance sont à fourche à la partie supérieure et embrassent les guides des tiges de tiroir. L'arbre de relevage est à la partie inférieure, presque à l'aplomb de l'arbre des roues ; il actionne les coulisseaux par des tringles verticales et reçoit son mouvement d'une tringle horizontale mue par deux cylindres, l'un à vapeur, l'autre à eau, placés sur le même axe. La commande de ces cylindres, de même que toutes les autres manœuvres, se fait depuis une plate-forme établie sur les cylindres entre les boites à tiroir et où se tient le mécanicien.

Le condenseur est indépendant de la machine et lui est relié par des tuyaux. Il est en tôle d'acier avec des plateaux en bronze.

Les tubes en bronze ont 19 *mm* de diamètre extérieur; ils sont fixés au moyen de presse-étoupes dans les plaques tubulaires qui ont une épaisseur égale au diamètre des tubes. La surface totale de refroidissement est de 950 m^2. Il y a deux pompes à air, mues comme il a été dit par des balanciers actionnés par les traverses des tiges de piston. Les pompes ont 0,95 *m* de diamètre et 0,65 *m* de diamètre. Les corps sont en bronze ainsi que les pistons et les sièges des clapets; ceux-ci sont en caoutchouc.

Les pompes alimentaires sont indépendantes, de même que les pompes de circulation ; ces dernières, du type centrifuge, sont placées de chaque coté du navire, elles sont actionnées chacune par une machine verticale à cylindres de 0,254 *m* de diamètre sur autant de course.

Les roues ont un diamètre extérieur de 6,80 *m*. Chacune a neuf aubes mobiles de 3,75 *m* de longueur sur 1,32 *m* de hauteur. La charpente des roues est en fer à l'exception des tourteaux qui sont en acier coulé. Les aubes sont en tôle d'acier dont l'épaisseur est double ou triple suivant les parties et les efforts que celles-ci supportent. Les articulations sont garnies de bagues en bronze. Le moyeu du système de commande des aubes est en acier coulé, avec coussinet en gaïac tournant sur un axe en bronze fixé sur l'elongis extérieur des tambours. La roue de bâbord porte un cercle denté avec lequel engrène un pignon commandé par une petite machine à vapeur placée à l'intérieur du navire et qui sert à tourner les grandes machines lorsque les chaudières principales ne sont pas allumées. Les arbres des roues sont en acier, ils sont creux et ont le même diamètre que les arbres à manivelles. Ils portent sur des chaises en acier coulé fixées à la muraille du navire; les coussinets de 1,20 *m* de longueur sont en acier coulé garni de métal blanc, le chapeau n'a pas de coussinet. Les chaises en question sont supportées en dessous par des consoles en tôle et rattachées en dessus à la muraille par des tirants obliques avec écrous de serrage.

La vapeur est fournie par huit chaudières cylindriques à retour de flamme, dont quatre à l'avant et quatre à l'arrière des machines. Il y a donc quatre chaufferies, lesquelles sont closes pour permettre l'emploi du tirage forcé. Les chaudières sont en acier Siemens-Martin, fabriqué à Seraing; elles ont un diamètre moyen de 4,06 *m* et une longueur de 3,12 *m*; il y a dans chacune trois foyers ondulés Fox de 0,983 *m* de dia-

mètre moyen. Le diamètre est légèrement plus grand à l'attache avec la plaque de façade de la chaudière, pour qu'on puisse facilement retirer les foyers en cas de remplacement. Le joint riveté entre le foyer et la chambre de combustion est protégé par un autel en briques réfractaires. Il y a une chambre de combustion séparée pour chaque foyer. Les tubes sont en acier, ils ont 3 *mm* d'épaisseur, 64 de diamètre extérieur, et 2 *m* de longueur entre les plaques tubulaires. Le diamètre est un peu plus grand du côté de la boite à fumée, pour qu'on puisse les retirer sans difficultés. Les tubes tirants sont vissés dans les deux plaques tubulaires sans écrous. Les chaudières sont timbrées pour une pression de marche de 8,25 *kgm* par centimètre carré; elles ont une surface de chauffe collective de 1 310 m^2 et une surface de grille de 43,20 m^2, rapport 1 à 30 en nombres ronds.

Les épaisseurs de tôles (acier) sont 22 *mm* pour l'enveloppe, 16 pour les plaques tubulaires avant et arrière, 12 1/2 pour les chambres de combustion, 9 1/2 pour les foyers et 17 pour le fond d'arrière et la partie inférieure de la façade.

Les chaudières sont enveloppées extérieurement d'une couche de farine fossile maintenue par une tôle galvanisée. Chacun des deux groupes de générateurs a sa cheminée séparée. Les cheminées sont à section ovale et à double paroi. Le tirage forcé est opéré par quatre ventilateurs de 1,50 *m* de diamètre avec moteur indépendant; ces ventilateurs prennent l'air à la partie supérieure de la chambre des machines et le refoulent dans un conduit rectangulaire qui entoure la chaudière et débouche devant chacune par un orifice muni d'un registre pour régler l'ouverture de passage; devant chaque orifice est disposée une cloison formant chicane pour empêcher le courant d'air de soulever la poussière de charbon qui couvre les parquets. Il y a un manomètre à eau dans chaque chaufferie et un manomètre correspondant sur la plate-forme du mécanicien pour que celui-ci connaisse la pression de l'air dans chaque chambre de chauffe.

On a vu plus haut que l'alimentation s'opère par des pompes indépendantes. Ce sont des pompes à action directe de Weir, dont les plongeurs ont 298 *mm* de diamètre et les cylindres à vapeur 419, la course commune étant de 0,508 *m*. Il y a deux pompes semblables indépendantes dont chacune peut assurer l'alimentation totale des générateurs.

Elles sont également disposées pour faire circuler l'eau dans les chaudières et pour vider celles-ci. La chambre des machines contient un distillateur Weir pour réparer les pertes d'eau douce; cet appareil a 1,07 *m* de diamètre et 1,13 *m* de hauteur et peut donner 12 000 *kg* d'eau par 24 heures. Il y a également une pompe à vapeur indépendante, qui peut prendre l'eau à la mer ou à la cale, et la refouler, soit dans des réservoirs, soit sur le pont, pour le lavage, ou servir en cas d'incendie. Cette pompe a 0,20 *m* de diamètre et le cylindre à vapeur, 0,225 *m*, la course commune étant 0,45 *m*.

La transmission des ordres se fait de la passerelle et des tambours à la machine au moyen d'un télégraphe à répétition de Chadburn et il y a aussi une communication télégraphique entre la chambre des machines et les chaufferies.

Les qualités du navire et de son appareil moteur ont été mises en évidence par le service fait jusqu'ici. Avec les très mauvais temps de Novembre de l'année dernière et de Janvier et Février de cette année, le bateau n'a pas manqué une seule traversée et a accompli son service avec la plus parfaite régularité.

Les vitesses considérables réalisées par le paquebot que nous venons de décrire et par ceux qui l'ont précédé et dont il a été question au commencement de cet article nous rappellent une note très remarquable publiée il y a déjà quelques années sous le titre « Application du système compound aux machines marines. pour les courtes traversées », par M. J. Boulvin, ingénieur de la marine belge.

Dans ce travail, l'auteur, en constatant que la machine compound et la condensation par surface, en permettant de réduire la consommation de combustible, avaient contribué dans une large mesure à faire du navire à vapeur l'outil de transport par eau le plus perfectionné qui existe, émettait l'opinion qu'on ne pouvait peut-être pas poser les mêmes conclusions quant à l'emploi des machines compound pour les traversées réduites telles que celles de la Manche. Il se peut, en effet, disait-il, que l'allégement en combustible obtenu par l'introduction du système perfectionné ne suffise pas à compenser l'augmentation de poids de ses organes, augmentation qui est d'environ 20 0/0 par cheval indiqué. Pour élucider la question se résumant dans le problème suivant : Exécuter sur des dimensions limitées un navire qui effectue à une vitesse aussi grande que possible des traversées d'une longueur déterminée, M. Boulvin se livrait à des recherches très savantes et arrivait à cette conclusion : Considérant une traversée de 60 milles, ce qui est le cas de la ligne d'Ostende à Douvres ou de celle de Holyhead à Kingstown, nous constatons que l'avantage se trouve toujours du côté des machines ordinaires qui permettent, à dimensions égales du navire, de réaliser une vitesse plus grande; pour une traversée de 22 milles comme celle de Calais à Douvres, la différence à l'avantage du système ordinaire serait encore plus grande. On trouve dans les tableaux annexés au mémoire que pour une traversée de 60 milles, un navire de 83,40 *m* de longueur, 10,05 *m* de largeur et 4,30 *m* de creux pourrait, avec une machine ordinaire, réaliser 3 190 *ch* et, en dépensant 18 200 *kg* de combustible par traversée, effectuer celle-ci à la vitesse de 19 nœuds, tandis qu'avec une machine compound, celle-ci ne pourrait avoir qu'une puissance de 2 790 *ch* et en brûlant seulement 9 100 *kg*, soit la moitié de la consommation de l'autre, n'aurait qu'une vitesse de 18,2 nœuds, soit 0,8 de moins que l'autre navire, semblable à l'appareil moteur près.

Ces conclusions pouvaient peut-être sembler en partie confirmées par les faits à l'époque où le mémoire a été écrit, mais l'introduction ultérieure de paquebots armés de machines compound sur les différentes lignes traversant la Manche et les vitesses supérieures réalisées par ces paquebots sont venues depuis lors leur donner un démenti éclatant. L'explication en est, à notre avis, que le savant ingénieur belge était parti d'un point de départ tout à fait inexact : savoir, l'excès de poids prétendu de 20 0/0 des machines compound par rapport aux machines ordinaires par cheval indiqué. Que cet excès ait existé dans quelques

cas, soit, mais ériger ces exceptions en règle ne pouvait conduire qu'à des conclusions fausses. Si la machine est nécessairement un peu plus lourde, par suite du plus grand diamètre d'un des cylindres, on regagne largement cette différence par le moindre poids des chaudières et de l'eau qu'elles contiennent, réduction proportionnelle à celle de la dépense de vapeur par unité de puissance.

L'attention de M. Boulvin et celle de beaucoup d'ingénieurs distingués qui partageaient alors la même erreur eût dû être attirée sur ce fait qu'à l'époque où il parlait, on employait déjà depuis longtemps les machines compound pour la navigation des lacs (1) et des rivières où la longueur des traversées est excessivement réduite et que le remplacement fréquent d'anciennes machines par des moteurs perfectionnés opéré sur ces bateaux ne leur avait jamais fait perdre de vitesse, au contraire. L'exemple le plus remarquable n'est-il pas celui des torpilleurs où la durée du fonctionnement à toute puissance est extrêmement limitée? A-t-on jamais avancé que l'emploi des machines compound ou à triple expansion était de nature à réduire la vitesse de ces petits bâtiments?

Transmissions électriques dans les usines *(suite et fin)*. — D'après le nombre de métiers installés, on compte actuellement dans l'usine :

1° 40 moteurs de 50 à 75 *kgm* placés sur les métiers dits d'étoffe et qui les actionnent directement par une courroie sur poulies fixe et folle sans aucun intermédiaire. Ils tournent à blanc chaque fois que le métier s'arrête en ne dépensant pas le quart du courant qu'ils absorbent à pleine charge, c'est-à-dire lorsque le métier bat. En cas d'arrêt prolongé, le courant est interrompu, et la dépense de force absolument annulée. Un rhéostat très simple, placé contre chaque moteur, permet de régler la vitesse du métier suivant les articles de fabrication.

2° 60 moteurs types de 25 *kgm*, placés en bas des métiers de rubans et velours, dont l'entraînement se fait par de simples cordes en cuir passant sur une double poulie intermédiaire fixée sur le côté au-dessus du moteur; de là le mouvement est directement transmis sur le volant même du métier sur lequel on a pratiqué une gorge. Un système ingénieux d'interrupteur à piston et rupture brusque, créé spécialement pour la circonstance, permet de commander très facilement et sans effort le moteur au moyen d'une tringle glissant sur le devant de la banquine. Comme les moteurs sont excités en dérivation, l'interrupteur agit à double effet, fermant d'abord le circuit sur l'inducteur, puis sur l'armature tournante et inversement pour l'interruption du courant lorsqu'il s'agit d'arrêter le moteur qui ne tourne toujours que lorsque le métier doit battre.

3° 5 moteurs de la force de 1 à 3 *ch* actionnant à l'aide de légères transmissions en fosses les ateliers de dévidage, ourdissage mécanique, découpage et lustrage, de moulinage, et les cannetières. Deux autres petits

(1) Il y a au moins quinze ans qu'il n'existe plus de machines ordinaires sur les bateaux des lacs de la Suisse et du nord de l'Italie.

moteurs de 10 à 25 *kgm* font fonctionner l'imprimerie et un tour à découper les tambours de pliage.

Quoique la dépense en énergie électrique reste absolument proportionnelle au travail produit, tous ces moteurs sont prévus de force avantageuse pour assurer le démarrage qui se fait sans hésitation ; tous les enroulements étant en dérivation ou compoundés, les vitesses varient à peine à 10 0/0 près. On a en plus de cela des appareils dont les organes sont très robustes et d'un entretien négligeable.

Éclairage. — L'éclairage électrique, largement réparti, est assuré par 50 lampes à arc de 6 ampères dans les magasins, recettes, le dévidage et la salle des machines. Un tableau de commande, placé dans chaque salle, permet, grâce au potentiel de 65 à 70 volts, d'allumer ou d'éteindre indépendamment chaque lampe à arc. Environ 350 lampes à incandescence fournissent l'éclairage dans les bureaux, l'usine où chaque métier est éclairé par 2 lampes, les ourdissages, ateliers et dépendances diverses.

Accumulateurs. — Une batterie de 36 éléments d'accumulateurs (système Tudor) construits par M. Martin, de Saint-Étienne, d'une capacité totale de 200 ampères-heures, permet de conserver l'éclairage dans les bureaux et divers magasins après l'arrêt des machines.

Une des deux dynamos sur laquelle le compoundage est passagèrement supprimé au moyen d'un shunt *ad hoc* charge les accumulateurs pendant quelques heures de la journée. A cet effet, un dispositif de combinateur accouplé très bien compris permet de mettre instantanément en charge la batterie par deux groupes en quantité, inversement pour la décharge, les 36 éléments en tension.

Un tableau indépendant comporte les appareils desservant les accumulateurs.

Toute l'installation qui s'est complétée progressivement au fur et à mesure qu'il se montait de nouveaux métiers, n'a cessé de bien fonctionner, l'entretien s'en faisant sans difficulté par le personnel de la maison.

Rendement. — Le rendement a pu être facilement mesuré à l'aide d'un compteur dynamométrique Piguet, installé auprès de la machine à vapeur. Au moment où les expériences ont été faites, on comptait réellement en service quarante métiers d'étoffes dont un certain nombre très lourds à mener, plus cinquante métiers de rubans ou de velours de types différents, enfin les divers ateliers, l'énergie étant fournie par une seule dynamo, la deuxième chargeant les accumulateurs. Tout étant en travail, sauf l'éclairage, le débit maximum dépensé en ampères n'excédait pas 350 et, d'après le compteur dynamométrique, la machine à vapeur produisait 40 à 45 *ch.* La répartition est facile à faire en se servant des données de spécialistes compétents, ainsi que des essais faits partiellement.

Les forces nettes nécessaires sur les arbres mêmes des métiers et de chaque atelier doivent être évaluées comme suit :

	Chevaux.
Pour les quarante métiers d'étoffes au minimum.	14
Pour les cinquante métiers de rubans et velours unis ou façonnés	6
Atelier de dévidage	1
» lustrage.	1
» ourdissage mécanique	1,50
» moulinage et cannetières.	1
» imprimerie et tour.	0,50
Pour l'entraînement des transmissions du sous-sol commandant les dynamos et l'atelier de mécanique (exactement mesuré).	7
Pour la charge des accumulateurs à 40 ampères, l'excitation d'une dynamo et l'éclairage pendant le jour de 15 lampes environ dans des milieux sombres	5
ENSEMBLE	37

La force perdue pour l'excitation de la seconde dynamo et des moteurs, des pertes de lignes, etc., est donc en réalité de 8 *ch*, susceptible de diminuer proportionnellement avec l'arrêt de plus ou moins de métiers et d'ateliers.

En supposant maintenant que tous les moteurs aient été remplacés par des transmissions et courroies, il est parfaitement avéré, d'après études et mesures faites dans d'autres usines d'importance analogue à celle de MM. Forest, que la force absorbée d'une façon constante par les dites transmissions et courroies ne serait pas inférieure à 12 *ch*, surtout si l'on considère qu'il faudrait desservir des ateliers éloignés, comme cela existe dans l'usine de Saint-Étienne.

En récapitulant, avec les 37 *ch* utilement répartis, la machine à vapeur aurait forcément dû produire pour le même travail une force de 49 *ch*, au lieu de 40 à 45.

On peut donc sûrement admettre que la distribution de la force par l'électricité est sous tous les rapports plus avantageuse que la distribution par transmission et courroies. Du reste, les nouvelles applications qui s'en font de jour en jour le prouvent suffisamment. A Bâle, actuellement, d'importantes usines de tissage adoptent définitivement, à l'instar de MM. Forest, les moteurs électriques sur chaque métier et suppriment les transmissions mécaniques.

L'électricité a été également appliquée, chez MM. Forest, à une distribution d'heure dans les différents services et à un système complet de sonneries et de téléphones.

Pour conclure, on peut dire, en félicitant MM. Forest de leur intelligente initiative, que l'installation réalisée par eux constitue dans l'industrie du ruban un progrès sérieux qu'il est à désirer de voir suivi par l'industrie stéphanoise. Deux autres grandes maisons doivent, du reste, procéder prochainement à des installations analogues pour leurs bureaux et magasins.

Consommation de vapeur des pulsomètres. — On a vu dans la chronique de juin 1894, pages 766 et 770, que les expériences faites par M. A. de Borodine avaient donné pour les pulsomètres une consommation de vapeur très élevée, 390 *kg* environ par cheval en eau montée de sorte que 1 *kg* de vapeur ne donnait que 715 *kgm*.

Dans la discussion qui a suivi la communication de notre collègue à l'*Institution of Mechanical Engineers*, sans contester l'exactitude du résultat particulier obtenu, quelques membres l'ont considéré comme exceptionnel. Ainsi M. J. Eliot Hodgkin, en rendant justice au soin avec lequel avaient été conduites les expériences, a émis l'opinion que les chemins de fer Sud-Ouest avaient dû employer quelques mauvais spécimens de fabrication allemande de pulsomètres. Non seulement les bons pulsomètres donnent des rendements très supérieurs à ceux qui ont été indiqués, mais cet appareil a été encore grandement perfectionné depuis.

Dans la nouvelle disposition de Grel, la vapeur, au lieu de continuer à agir sur l'eau pendant toute la descente de celle-ci dans la chambre où se fait le refoulement, est coupée à la moitié à peu près de la course et continue à agir par détente. Cet effet est produit par l'addition au-dessus de la soupape sphérique ordinaire qui dirige la vapeur dans une chambre ou dans l'autre d'un clapet de détente constitué par un piston en forme de coupe renversée contenu dans un cylindre de faible hauteur dont l'intérieur est par un petit trou en communication avec l'intérieur du pulsomètre; le piston a aussi un petit trou.

Lorsqu'une des chambres est à moitié vidée par le refoulement de l'eau sous l'action de la vapeur, la pression de la vapeur s'exerçant dans l'intérieur du cylindre dont nous venons de parler est assez forte pour soulever le piston et lui faire fermer l'accès de la vapeur au pulsomètre, jusqu'à ce que la soupape sphérique se déplace, et, fermant l'ouverture de la chambre où s'opère le refoulement, fait que ce dernier achève de s'opérer par la détente de la vapeur. Tout cela se fait automatiquement et non seulement économise la moitié de la vapeur, mais encore évite absolument le passage direct de la vapeur de la chaudière dans la conduite de refoulement, inconvénient grave qui se produit quelquefois dans les pulsomètres mal installés.

On comprend qu'un pulsomètre agissant avec détente puisse présenter un avantage économique sur une petite pompe à vapeur qui agit sans expansion avec des espaces nuisibles atteignant la proportion de 15 0/0 du volume décrit par le piston et qui a des frottements considérables et des fuites qui peuvent être importantes, ce que n'a pas le pulsomètre. Une légende a été créée contre ce dernier, à la suite de quelques cas malheureux au début; on l'a appelé un mangeur de vapeur; il mérite beaucoup moins cette injurieuse appellation que bien des systèmes de pompes à vapeur.

Des expériences ont été faites par le professeur T. Hudson Beare aux ateliers de la *Pulsometer Engineering* C° à Nine Elms, Londres, d'après la méthode ordinaire employée par cette Société pour essayer ses appareils avant leur livraison. L'eau était élevée dans un réservoir placé sur un échafaudage à 21 *m* au-dessus du sol. La hauteur totale d'élévation était de 22,25 *m* et la charge, résistances comprises, de 25,75 *m*, mesurée par

le manomètre. Du réservoir, l'eau retombait par un tuyau sur le parcours duquel était un compteur Kennedy par lequel on avait le débit. Comme contrôle, on mesurait encore celui-ci après le compteur dans un réservoir jaugé. L'eau d'alimentation était mesurée avec une bâche placée sur une bascule et on notait le poids d'eau introduit dans la chaudière toutes les dix minutes pendant la durée de l'essai qui était de quatre heures et demie.

La chaudière était en plein air et la conduite de vapeur de 13 *m* de longueur allant au pulsomètre n'était pas enveloppée. La pression moyenne de la chaudière a été pendant l'essai de 3,90 *kg* par centimètre carré. La dépense d'eau d'alimentation a été trouvée de 163,4 *kg* par heure. Le débit du pulsomètre a été trouvé de 25 993 litres, ce qui, avec la charge de 25,75 *m* dans un travail de 669 320 *kgm* par heure, ou 2,48 *ch*. La dépense de vapeur correspond donc à 65,9 *kg* par cheval en eau montée et par heure et le travail par kilogramme de vapeur à 3 862 *kgm*, chiffres bien plus avantageux, non seulement que ceux de 390 *kg* et de 615 *kgm* des expériences de M. A. de Borodine, mais encore que les résultats d'un certain nombre des pompes à vapeur essayées par cet ingénieur.

Le pulsomètre étant, d'après les expériences dont il vient d'être question, seulement six fois moins économique (au lieu de 37 fois moins) que de grandes pompes à vapeur comme les machines de Cornouailles, on conçoit que si on fait entrer en ligne de compte le faible prix, poids et volume du pulsomètre, l'absence de fondations, d'entretien et de réparations, la facilité de son installation, on pourra, dans bien des cas, lui donner la préférence, même avec une plus forte dépense de vapeur et à plus forte raison à dépense égale et même moindre.

Il est juste d'ajouter que d'autres membres, notamment M. E.-B. Marten, ont déclaré n'avoir pas obtenu dans leur pratique d'aussi heureux résultats, à beaucoup près, du pulsomètre et on ne peut que s'associer à la conclusion émise à la fin de la discussion par M. A. de Borodine, savoir que, en présence de différences aussi considérables que celles qui séparent les résultats obtenus dans les diverses expériences et dans la pratique, il serait bien à désirer de voir faire des essais très complets dans un laboratoire spécial sur les diverses espèces d'appareils pour élever l'eau. Il est évident que, si on pouvait être certain de réaliser en pratique des résultats s'approchant de ceux qui ont été indiqués par M. J. Eliot Hodgkin, le pulsomètre détrônerait tous les systèmes de pompes à vapeur pour les petites dimensions.

Il nous paraît intéressant de rappeler ici les résultats des essais faits il y a plus de soixante ans sur des machines de Savery par Daniel Colladon. La machine de Savery est le prototype du pulsomètre. Il existait encore un peu après 1830 trois machines de ce système à Paris, deux aux bains Vigier, l'autre à l'abattoir de Grenelle.

C'est cette dernière, construite par Manoury d'Ectot, qui donna les meilleurs résultats dans les esssais de Colladon.

Dans une expérience faite le 10 juillet 1833, le volume élevé par heure à la hauteur de 14 *m* fut trouvé de 15 400 *l*, ce qui donne un travail de 215 600 *kgm* ou 0,8 *ch* en eau montée ; la dépense fut de 13 *kg* de charbon

par heure, soit une dépense de 16,25 *kg* de charbon par cheval, l'élévation de température de l'eau ne fut que de 4 degrés 6. La consommation par cheval est inférieure à celle de bien des pompes essayées par M. A. de Borodine (voir chronique de juin, tableaux des pages 768, 770, 771).

Il faudrait connaître la production de vapeur des chaudières des machines de Savery, or nous n'avons aucun renseignement à cet égard. En la supposant de 6 *kg* par kilogramme de charbon, la dépense de vapeur par cheval serait de 97,50 *kg* et le travail par kilogramme de vapeur de 2 770 *kgm*, chiffres qui ne sont pas mauvais, si on se reporte aux tableaux précités. Si on les compare aux résultats donnés par M. Hodgkin, savoir 65,9 *kg* de vapeur par cheval et 3 862 *kgm* par kilogramme de vapeur, on devrait conclure que les machines de Savery construites il y a plus de soixante ans ne dépensaient effectivement que 45 à 50 0/0 de plus que les pulsomètres récents les plus perfectionnés dans des essais dont les résultats ont pu être considérés par beaucoup de personnes comme exceptionnellement favorables et bien supérieurs aux résultats courants de la pratique. Et encore la différence ci-dessus pourrait-elle être regardée comme un maximum susceptible de réduction, car la chaudière de l'abattoir de Grenelle pouvait aussi bien ne donner que 5 ou 5,50 *kg* de vapeur par kilogramme de charbon, au lieu de 6 comme nous l'avons admis.

Colladon concluait que la machine de Savery était un moteur précieux pouvant être utilement employé dans plusieurs industries. « Il est à craindre, ajoutait-il, que le forage qui s'exécute à Grenelle ne fasse abandonner la machine de Manoury et que ce moteur ne soit détruit. Nous émettons un vœu pour que cette machine, qui est à la fois un monument historique curieux et un bon modèle, soit acquise par l'Administration du Conservatoire des Arts-et-Métiers et conservée dans les collections de cet Établissement. »

Ces expériences de Colladon et Championnière sont rapportées dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*, année 1835.

Emploi de l'air comprimé pour le sauvetage des navires. — Nous avons rapporté, il y a quelques années (chronique d'août 1887, page 159), le remarquable sauvetage du paquebot le *Taurus* opéré sous la direction de notre collègue M. d'Allest et indiqué l'essai infructueux tenté dans cette circonstance de l'emploi de l'air comprimé, avec des conditions très défavorables. M. d'Allest expliquait qu'il faut, pour avoir des chances de succès, que les parties dans lesquelles il est possible d'envoyer de l'air soient complètement sous l'eau.

On a opéré récemment un sauvetage dans ces conditions avec un résultat très heureux sur le steamer *Plymouth*, un des plus beaux bateaux de la *Fall River Line*, échoué le 19 juin dernier sur des rochers dans le port de Newport, R. I. Voici sur cette opération opérée avec une rapidité remarquable quelques détails empruntés à l'*Engineering News*.

Le *Plymouth* est un navire à roues de 3 780 *tx*, construit en 1890. Il a 110 *m* de longueur et est armé d'une machine inclinée à triple expansion et à quatre cylindres développant 5 500 *ch*. La coque en fer est construite avec une double paroi divisée en un grand nombre de compartiments étanches par des cloisons longitudinales et transversales; les

divers compartiments sont reliés par des tuyaux convenablement disposés à des pompes d'épuisement; il y a un système de tuyaux pour les compartiments d'avant et un pour ceux d'arrière.

Lorsque le steamer toucha sur les rochers, il avait assez d'élan pour s'être trouvé porté sur eux par la partie située sous les machines et les chaudières, avec une assez forte bande du coté de tribord. On constata que la coque extérieure était assez endommagée dans la partie qui avait touché et que tous les compartiments situés dans cette partie étaient pleins d'eau. La paroi intérieure était crevée à trois endroits dans la chambre des machines, mais les ouvertures furent facilement bouchées par des pièces de bois et du ciment à prise rapide. On constata également que l'arc pris par le navire à la suite de sa position sur les rochers avait endommagé les cloisons de séparation du double fond, de sorte que plusieurs compartiments étaient envahis par l'eau provenant des compartiments voisins, bien que la coque extérieure ne fût pas endommagée dans cette partie.

On chercha, de suite après l'échouage, à relever le navire, mais sans succès. Les pompes de cale n'étaient pas assez fortes pour franchir les voies d'eau. La *Chapman Derrick and Wrecking Company*, de New-York, chargée d'opérer le sauvetage, ajouta à son matériel ordinaire un compresseur d'air de $0{,}305 \times 0{,}400\ m$ qui fut installé à bord du *Plymouth* et relié au tuyautage d'épuisement des compartiments avant, en même temps qu'on interrompait la communication avec les pompes de cale. La vapeur était fournie à la machine du compresseur par les chaudières du paquebot. Cette installation avait pour objet de refouler par la compression de l'air l'eau hors des compartiments du double fond.

On passa sous l'avant du paquebot une chaine qui fut attachée au palan d'une forte grue flottante appartenant à la Société de sauvetage. Une seconde grue flottante fut placée à l'arrière du tambour de bâbord. Quatre pontons furent groupés autour de l'arrière, deux à tribord au milieu de la longueur du navire et enfin un de chaque côté à l'avant des roues. Tous ces pontons étaient amenés le long du paquebot sous les gardes; on empilait alors des pièces de bois entre celles-ci et les ponts des pontons en même temps qu'on chargeait de pierres la partie extérieure du pont des pontons pour faire contrepoids lorsque les pontons commenceraient à soulever le navire. Les deux grues flottantes avaient une puissance collective de 375 *t*, et celle de l'avant suffit à elle seule pour relever d'un pied la proue du steamer.

Lorsqu'on mit en marche le compresseur, l'air refoula peu à peu l'eau hors des compartiments où aboutissait le tuyau et en passant par les trous des cloisons vida également les autres compartiments. On put constater cet effet du dehors par les bulles d'air qui arrivaient à la surface sur les flancs du bateau.

Le 24 juin le *Plymouth* put flotter et être amené en eau profonde, on lui attacha deux forts remorqueurs, et, comme on constata que, grâce au refoulement à l'extérieur de l'eau du double fond par l'air comprimé, il pouvait flotter sans l'aide des pontons, on le débarrassa de ceux-ci pour l'amener à Newport. De là, par le moyen de ses propres machines, il put aller à New-York et y entrer en réparation dans une forme sèche.

Le steamer avait été relevé le sixième jour après son échouage. On a calculé que l'aide de l'air comprimé avait évité l'emploi d'un nombre de pontons supplémentaires pour 400 *t* au moins de puissance de soulèvement, et par conséquent supprimé des manœuvres délicates et une grande perte de temps.

Le plus grand pont de l'Allemagne. — On vient de terminer dans la Prusse occidentale un pont qui est le plus grand qui existe en Allemagne. Il est établi sur la Vistule à Fordon, non loin de Bromberg, et donne passage à une route et à un chemin de fer.

La longueur totale est de 1 325,50 *m* et se compose de 5 travées métalliques en rivière de 100 *m* de portée et de 13 travées également métalliques, sur terre, de 62 *m* chacune. Les travées en rivière sont formées chacune de deux poutres à treillis avec les plates-bandes supérieures courbes. Les treillis sont de grands croisillons doubles, et les points de croisement sont reliés par une plate-bande formant ligne courbe placée partout à égale distance des plates-bandes supérieure et inférieure.

Les deux poutres sont distantes l'une de l'autre de 10,80 *m ;* la route occupe 6,50 *m* et la voie ferrée 4,30 *m*. Il y a pour les deux un plancher en bois et elles sont séparées par une balustrade en fer, le plancher de la route est en contre-haut de celui du chemin de fer. Il y a pour les piétons des trottoirs extérieurs aux poutres et soutenus par des consoles.

Les piles et culées sont en maçonnerie. Il est entré dans la construction de l'ouvrage 6 000 *t* d'acier Bessemer basique et 15 000 *t* d'acier sur sole également basique. La dépense totale a été de 50 millions de francs en nombre rond et la durée des travaux a été de deux ans et demi. L'ouvrage a été exécuté sur les plans et sous la direction de l'ingénieur Mehrtens, de Bromberg.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

MAI 1894

Notice biographique sur M. J. Chambrelent, inspecteur général des ponts et chaussées, par M. LANCELIN, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

Note sur **les profils sans extensions des grands barrages en maçonnerie,** par. M. A. PELLETREAU, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'objet de cette note est de simplifier le calcul des grands barrages en maçonnerie. Ces ouvrages sont, surtout s'ils sont à proximité en amont d'un centre de population, une source de dangers tels que la plus extrême prudence est commandée ; d'autre part la question d'économie dans la construction est toujours en jeu et enfin on ne connait pas très exactement les lois de la répartition et de la transmission des efforts dans les massifs en maçonnerie.

La question du calcul des barrages est donc extrêmement délicate. Il y a d'ailleurs dans l'établissement même des barrages des éléments d'incertitude. On ne peut jamais être certain du niveau maximum et il est à peu prés impossible de fixer *a priori* la hauteur des vagues produites par le vent et qui relèvent momentanément le plan d'eau. Enfin, la résistance des mortiers et maçonneries à l'extension étant très faible, comme on ne peut supprimer complètement le travail à l'extension dans un barrage, il y a encore là une cause de danger.

L'auteur établit que le profil d'un barrage doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

— Diminution notable des efforts prévus depuis le plan de base jusqu'à la partie supérieure de l'ouvrage.

— Suppression aussi complète que possible des extensions.

Il arrive par une série de considérations dans le détail desquelles nous ne saurions entrer, qu'un profil rectiligne d'une certaine inclinaison est le plus économique des profils sans extension et qu'il ne dépasse que très peu le profil qu'on pourrait adopter, même en acceptant des extensions.

Système de transporteurs permettant de faire circuler sur les voies étroites le matériel des chemins de fer à voie large. — Mission faite en Allemagne, par MM. RIGAUX, ingénieur en chef, et HENRY et CLAISE, ingénieurs des ponts et chaussées.

Ces ingénieurs avaient été envoyés en mission par le Ministre des Travaux publics pour visiter des transporteurs pour la voie de 1 *m* dans le Wurtemberg et pour la voie de 0,75 *m* en Saxe. Ces appareils sont construits par la *Maschinen Fabrik Esslingen* (anciens ateliers Emile Kessler), à Esslingen, Wurtemberg.

Le principe de cet appareil consiste à faire porter chaque essieu du wagon de la voie large par un chariot à deux essieux roulant sur la voie étroite. Il faut par suite une paire de ces chariots pour soutenir et transporter sur la petite voie un wagon de la voie normale. Les deux chariots ne sont pas reliés ensemble mais ils le sont par une flèche, d'attelage au véhicule précédent et au suivant.

Le chargement s'effectue au moyen d'une disposition spéciale de voie qui constitue une fosse de chargement.

Ces appareils fonctionnent sur la ligne à voie de 1 *m* de Nagold à Altensteig (Wurtemberg) qui a des rampes de 30 *m* et des courbes de 50 *m*. A cause de ces rampes il est nécessaire de munir tous les véhicules de freins, et on emploie le frein continu à corde de Heberlein.

Ils se trouvent également sur plusieurs lignes à voie étroite en Saxe, notamment sur celles de Wilischtal à Ehrenfriederstroff et de Radebeul à Radebourg à voie de 0,75 *m*. Les transporteurs de cette dernière ligne ont également le frein Heberlein. L'emploi de ces engins est réglé par des instructions que reproduit la note. Il y a en effet certaines précautions à prendre pour éviter les accidents. On ne doit pas s'en servir pour toute espèce de marchandises et leur usage est prohibé par les vents violents.

Les conclusions du rapport sont que ces appareils peuvent rendre de grands services en France pour les voies de 0,75 *m* et de 1 *m* d'écartement.

Leur usage est pratique et ils offrent de réels avantages, mais ces avantages sont limités, au point de vue économique, aux parcours qui ne sont par trop longs et à certaines marchandises déterminées. Ils conviennent très bien pour raccorder par des voies étroites des usines à des lignes à voie normale.

Nous nous permettrons de rappeler que cette question n'est pas nouvelle pour notre Société qui a entendu il y a quinze ans (séance du 5 décembre 1879), une communication de notre collègue, M. Faliès, sur l'emploi, au chemin de fer à voie de 1 *m*, reliant la gare de Ribeauvillé (ligne de Strasbourg à Bâle) à la ville du même nom, d'appareils transporteurs analogues à ceux dont il vient d'être question et permettant le transport sur la voie étroite des wagons de la voie large. Ces appareils fonctionnent avec plein succès depuis cette époque.

Le tracé de la ligne de Ribeauvillé comporte des rampes de 40 et des courbes de 50 *m* de rayon, c'est-à-dire les mêmes conditions que les lignes de Wurtemberg et de Saxe dont il vient d'être question.

Note sur les enclenchements, par M. P. Thery, Ingénieur des ponts et chaussées.

Cette note a pour objet de montrer que les enclenchements à plus de deux leviers qu'on croyait jusqu'à présent être des cas d'espèces qui doi-

vent être étudiés dans chaque cas particulier, obéissent au contraire à certains principes généraux et suivent un certain nombre de règles faciles à entrevoir lorsqu'on examine les combinaisons de leviers qu'on veut éviter en les réalisant. Les enclenchements, en eux-mêmes, ne sont que des intermédiaires, très commodes et très utiles d'ailleurs, entre le but à atteindre (empêcher qu'un certain nombre de leviers n'occupent simultanément des positions déterminées) et les moyens mécaniques par lesquels on y arrive.

ANNALES DES MINES

Sixième livraison de 1894.

Etudes sur le **bassin houiller du Nord** et sur le Boulonnais, par M. Marcel **Bertrand,** ingénieur en chef des mines, professeur à l'Ecole nationale supérieure des mines.

La première partie de cette note est consacrée au développement d'une interprétation nouvelle de la structure du bassin houiller du Nord, la seconde est une étude directe des plis de ce terrain. Les considérations qui y sont développées offrent un certain intérêt pratique au point de vue de la plus ou moins grande extension souterraine de nos richesses houillères. L'auteur appelle notamment l'attention sur l'existence, le rôle et le mode de formation des massifs amygdaloïdes qu'on trouve dans le Boulonnais et le Weald. Ces massifs peuvent donner des indications utiles sur la limitation du bassin houiller et par suite sur les chances de succès que peuvent présenter les recherches de houille dans telle ou telle direction.

Note sur les **Corrosions par pustules des chaudières à vapeur,** par M. Olry, ingénieur en chef des mines.

On constate fréquemment à l'intérieur des chaudières l'existence de cavités qui se remplissent d'une poudre constituée principalement par de l'oxyde de fer; comme le volume de cette poudre est supérieur à celui du métal qui a disparu, il se forme au-dessus de chaque trou une sorte de champignon plus ou moins sphérique, c'est la pustule. Ces pustules prennent en général naissance à la partie inférieure des viroles horizontales, mais quelquefois aussi à la partie supérieure de certains bouilleurs ou réchauffeurs.

On doit attribuer leur formation à une action oxydante ayant pour origine l'attaque des tôles par l'oxygène de l'air contenu dans l'eau d'alimentation. Cette explication est corroborée par les faits. Une expérience déjà ancienne de MM. Scheurer Kestner et Meunier-Dollfus sur l'attaque d'un barreau de fer par de l'eau très aérée et son immunité en présence d'eau préalablement bouillie en est également la confirmation.

L'acide carbonique, qui est renfermé dans certaines eaux, peut également concourir activement à la formation des pustules. Quant à la localisation de l'attaque en des points déterminés, isolés les uns des autres, elle peut s'expliquer par la nature non homogène du métal et par la concentration des bulles d'air en certains points. Il semble en effet que les chaudières en tôle d'acier soient beaucoup moins sujettes à ce genre de corrosion que les chaudières en fer.

La nature des eaux d'alimentation a naturellement une influence capitale sur la formation des pustules. En général, les eaux très chargées de sels calcaires sont moins dangereuses à ce point de vue particulier.

La note indique un certain nombre de précautions qu'on doit employer pour soustraire les chaudières à ce genre de corrosions, précautions qui portent principalement sur les dispositions à donner aux chaudières pour éviter l'accumulation de l'air et de l'acide carbonique, le mode d'alimentation, les soins à donner lorsqu'on met une chaudière en chômage, etc. On recommande de badigeonner avec soin l'intérieur des chaudières au goudron avant de les mettre en service. On emploie depuis longtemps, à notre connaissance, ce procédé avec succès dans certaines Compagnies de chemins de fer, notamment au chemin de fer du Gothard.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Réunions de Saint-Étienne

Séance du 2 juin 1894.

Visite de la Société à la division de la Malafolie de la Compagnie des Mines de Roche-la-Molière et Firminy.

Les parties les plus à signaler de cette visite sont le puits de l'Ondaine où est installé un ventilateur Rateau de 2,40 *m* de diamètre actionné par une machine à vapeur Biétrix à distributeur rotatif, le chemin de fer de la Malafolie à Roche-la-Molière, avec ses locomotives à quatre essieux couplés pesant 50 *t* en service, les puits du Band et Malafolie n° 2 avec leurs machines d'extraction, leurs criblages et le ventilateur Mortier à air comprimé. On peut citer également les puits Monterrad n°s 1 et 2, dont le premier a un ventilateur de 9 *m* de diamètre installé par Guibal lui-même en 1869 et qui débite 25 m^3 par seconde à la vitesse de 45 tours par minute, la canalisation de l'Echapre et les installations du puits du Soleil comprenant notamment un ventilateur Guibal et un petit ventilateur Mortier de secours.

Note sur les **rapports de la Flore du bassin houiller de Douvres avec celle du bassin du Pas-de-Calais** par M. Zeiller, ingénieur en chef des mines.

Cette note a pour objet de répondre à des observations contenues dans une communication de M. Breton publiée dans le n° d'avril 1894

de la *Société de l'Industrie minérale*. L'auteur ne partage pas l'avis de cet ingénieur sur la dissemblance de ces flores, mais il déclare qu'il ne cherche pas à en tirer des arguments pour ou contre le raccordement des deux systèmes de couches.

Installation électrique pour le transport et l'épuisement à la mine Dumbrock, près Kilsyth, Grande-Bretagne (Extrait du *Colliery Guardian*).

On a installé dans cette mine une transmission électrique pour l'élévation des eaux et pour le transport de la houille. A cet effet une machine à vapeur, placée à la surface, actionne une dynamo à quatre pôles pouvant développer, avec une vitesse de 400 tours par minute, un potentiel de 600 volts et 62 ampères, une force de 50 *ch*. Un câble de 500 *m* réunit cette dynamo à une autre à deux pôles qui actionne un arbre commandant le transport par des câbles animés d'une vitesse de 2 400 *m* à l'heure avec les débrayages convenables. D'autres câbles actionnent des dynamos servant à l'épuisement. La depense totale s'est élevée à 64 000 *f* dont 36 000 *f* environ pour l'installation électrique.

L'industrie minière en Tasmanie (Extrait de l'*Engineering and Mining Journal*).

Les exploitations minières de la Tasmanie comprennent l'or dont la valeur de 1877 à 1893 représente 68 millions de francs, le plomb argentifère, le cuivre, l'étain, dont les gisements sont très importants et dont l'extraction de 1873 à 1893 représente une valeur d'environ 145 millions de francs, le fer et quelques autres métaux et enfin la houille dont on a extrait environ 43 000 *t* en 1893.

Sous-produits de la fabrication du coke en Allemagne (Extrait de l'*Engineering and Mining Journal*).

D'après un rapport du consul général des États-Unis à Francfort, il y aurait en Allemagne environ 3 000 fours à coke avec appareils de condensation, dont la moitié du type Otto Hoffmann.

Comme exemple des avantages obtenus avec ces fours, on cite une batterie de 60 fours installés en Westphalie, à raison de 14 000 *f* par four, le prix d'installation est de 840 000 *f*. Les bénéfices retirés de la vente des sous-produits ont été de 200 000 *f* soit 22 0/0 du prix d'installation, sans compter l'économie de 20 *t* de houille par jour causée par l'emploi du gaz combustible pour la carbonisation.

Appareil centrifuge de Sebenius pour la fabrication de l'acier sans soufflures (Extrait de l'*Engineering and Mining Journal*).

Cet appareil se compose de récipients dans chacun desquels on place quatre lingotières et auquel on donne un mouvement de rotation rapide pendant que le métal contenu dans les lingotières se refroidit. On obtient par ce procédé un métal exempt de soufflures et dans lequel le carbone est uniformément réparti. De plus, l'absence de soufflures fait qu'on n'est obligé de réchauffer les lingots qu'à une température suffisante pour permettre le laminage ; il en résulte une économie de combustible. Ces appareils sont en usage en Suède.

Le gaz naturel aux États-Unis (Extrait du *Colliery Guardian*).

La valeur approximative du gaz naturel consommé aux États-Unis en 1892 peut être estimée à 15 millions de dollars, elle avait été de 22 millions en 1888. Le premier chiffre représente l'equivalent de 10 millions de tonnes de houille. On peut juger par là de l'importance de la consommation du gaz naturel.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de juin 1894

Rapport général présenté au nom de l'**Association pour prévenir les accidents de fabrique,** par M. F. Engel-Gros, président de l'Association.

Rapport de M. C. Pierron, inspecteur de l'Association pour prévenir les accidents de fabrique sur **les travaux techniques** exécutés sous sa direction du 1er janvier 1892 au 31 décembre 1893.

Ce rapport contient la statistique des accidents pour les deux exercices et, comme d'habitude, l'indication de ceux qui auraient pu être évités avec telle ou telle précaution. Des tableaux contiennent le détail des mesures de sûreté conseillées pour les diverses industries. On donne enfin la description avec figures d'un certain nombre de dispositifs de sûreté, tels que : garde-roue pour chariots de métiers à filer renvideurs, règles de sûreté pour foulards et machines à apprêter, manivelles à charnière et freins pour treuils à bras, nettoyeurs pour frottoirs de bobiniers et étirages laine, graisseurs pour paliers difficilement accessibles ou situés dans des endroits dangereux, robinets de sûreté pour liquides corrosifs, etc.

Exposition Universelle de Chicago. — Notes et documents présentés par M. C. Pierron *(suite)*.

Cette partie est consacrée à l'inspection des ascenseurs aux États-Unis. On sait que les ascenseurs y sont d'un usage extrêmement fréquent, aussi a-t-on dû se préoccuper de leur surveillance; mais, comme la législation industrielle au point de vue des accidents du travail varie suivant les Etats de l'Union et qu'elle est très incomplète dans beaucoup, il s'est formé des associations de surveillance analogues à celles des chaudières à vapeur; certaines même cumulent l'inspection des deux genres d'appareils. M. Pierron donne des renseignements intéressants qu'il a pu recueillir sur l'organisation de ces inspections, savoir : le modèle des polices d'assurances, les instructions de service des inspecteurs pour les divers systèmes en usage . hydrauliques, à vapeur, électriques, à courroies et à bras.

L'institution de ces inspections a amené une disparition presque complète des accidents et, comme conséquence de ce fait, les installations d'ascenseurs sont devenues de plus en plus nombreuses, à mesure que les accidents diminuaient.

Note sur des **couleurs azoïques réserve,** sous impression de bleu indigo vapeur, par MM. L. Bloch et Ch. Schwartz.

Note sur la **fixation des couleurs d'aniline** sur noir d'aniline, au moyen de ferrocyanure de zinc, par M. F. Oswald.

Note sur le **crêpage de la laine,** par M. Ed. Kopp.

Note sur le **crêpe de laine artificiel,** par M. Félix Binder.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 29. — *21 juillet 1894*

Pont-levis établi à Chicago, pour le passage de la rue Van-Buren, par Th. Landsberg.

Construction des transporteurs à câble du système Otto, par I. Pohlig.

Un point faible dans la construction de beaucoup de chaudières à vapeur, par C. Bach.

Machines américaines de l'industrie textile à l'Exposition de Chicago en 1893, par G. Rohn *(suite)*.

Étude sur la résistance des poutres au flambement, par R. Bredt *(fin)*.

Bibliographie. — La machine locomotive, par Ed. Sauvage.

Variétés. — Expériences avec la vapeur surchauffée. — Deuxième assemblée générale de l'Association des électriciens allemands à Leipzig, les 8 et 9 juin 1894.

N° 30. — *28 juillet 1894.*

Aperçu sur le calcul des transmissions par câbles, par C. Friedmann.

La locomotive électrique Heillmann, par H. Brünig.

Recherches de Arnold sur l'influence des substances contenues dans le fer, par le professeur Dr. F. E. Müller.

Groupe de Hanovre. — Influence de l'énergie galvanique ou calorique sur l'énergie chimique. — Causes des explosions de chaudières.

Variétés. — Machine à vapeur à grande vitesse de Grafton. — Sécheurs de vapeur pour chaudières.

Correspondance. — Machines à gaz et petits moteurs à l'Exposition de Chicago en 1893.

Pour la Chronique et les Comptes Rendus :
A. Mallet.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 18136-9-94. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

SEPTEMBRE 1894

N° 9.

L'ARTILLERIE A TIR RAPIDE EN FRANCE

LES CANONS CANET

PAR

M. P. MERVEILLEUX DU VIGNAUX

I. — INTRODUCTION

Le sujet qui fait l'objet de cette communication a peut-être semblé trop spécial à certains de nos collègues.

Jusqu'à ces dernières années, les questions de matériel de guerre étaient restées en dehors de la compétence, et, le plus souvent, des préoccupations des Ingénieurs qui font partie de la Société.

Cependant, cette question a paru, à l'heure actuelle, avoir sa place marquée au milieu de nos travaux, et cela, pour plusieurs raisons.

D'abord, les plus jeunes d'entre nous, surtout depuis les dispositions nouvelles de la loi militaire, sont appelés à servir tous, ou presque tous, dans l'artillerie.

En second lieu, la fabrication du matériel de guerre, en employant ce mot dans sa plus large acception, sans se restreindre aux seuls canons, a pris une extension considérable; elle est devenue, par le travail métallurgique ou mécanique qu'elle exige une des branches les plus importantes de notre industrie nationale. Enfin, un intérêt technique très grand s'attache à l'étude des problèmes mécaniques nombreux et complexes, auxquels donnent lieu la construction et l'exécution du matériel d'artillerie.

D'ailleurs, les questions d'armement sont trop à l'ordre du jour, elles préoccupent trop les esprits désormais, pour qu'une Société d'Ingénieurs puisse s'en désintéresser, et que chacun, métallurgiste ou constructeur, ne cherche pas, dans une mesure et à un titre quelconque, à apporter des perfectionnements qui mettent la France au premier rang.

Ces motifs avaient semblé suffisants au regretté Président, qui nous a été si subitement enlevé, pour accueillir ce travail avec bienveillance.

J'ai dû me restreindre. Une partie historique passant en revue tous les développements successifs de l'artillerie en général, peut présenter un certain intérêt, mais, pour une étude qui s'adresse à des hommes techniques, il est préférable de prendre immédiatement la question dans son état actuel. Du reste, les transformations sont tellement rapides, qu'en remontant au delà d'une vingtaine d'années nous ne retrouverions plus un matériel présentant désormais un intérêt sérieux et pratique.

Nous ne pourrons que jeter un coup d'œil sur l'état général de la question avant d'aborder le sujet spécial des canons à tir rapide qui sera traité plus à fond.

L'étude du matériel de campagne aurait été particulièrement intéressante pour les officiers de l'artillerie de terre que la « Société des Ingénieurs civils » compte parmi ses membres, mais je n'ai pas ici à décrire le matériel actuellement en service.

Il date de vingt ans bientôt, il est connu de tous. Chacun sait qu'après les désastres de 1870, il a fallu reconstituer à tout prix notre armement. M. le colonel de Bange a su accomplir, avec un plein succès, cette œuvre qui a illustré son nom et ce matériel nous a, pendant de longues années, donné la première place parmi les nations européennes au point de vue de l'artillerie de campagne.

Mais les progrès réalisés font qu'actuellement l'artillerie de terre a de nouvelles exigences, les projectiles ont des effets plus meurtriers, on demande aux canons plus de puissance et en même temps plus de légèreté, enfin la rapidité du tir, qui a conduit à des transformations complètes pour l'armement des navires, est considérée désormais comme une des conditions qui s'imposent pour l'artillerie de terre. On est amené, pour atteindre ces résultats, à réduire le calibre, à modifier la fermeture de culasse, à changer le mode de chargement et, surtout, à supprimer, ou tout au moins, à diminuer, dans des proportions notables, le recul de la pièce.

C'est un problème extrêmement difficile, car tous ces désidérata ne sont guères compatibles avec la mobilité, la puissance et la simplicité que, d'autre part, on réclame avec raison.

Un grand nombre d'expériences ont été faites, soit à l'étranger soit en France. Certains systèmes ont donné de bons résultats et indiquent assez nettement la voie à suivre, mais nulle part, pas plus à l'étranger qu'en France, le problème n'a été résolu d'une

façon complète. Au surplus, ce qui a été fait a un caractère trop confidentiel pour qu'il en soit question ici.

Les puissances européennes se rendent parfaitement compte que le matériel de campagne est entièrement à renouveler, mais le statu quo se maintiendra, surtout chez celles qui ont un armement satisfaisant, en somme, jusqu'au jour où un pays aura donné l'exemple; il s'agit de centaines de millions à dépenser on ne se décidera qu'à la dernière limite et quand le problème aura reçu une solution satisfaisante et définitive.

Sur le matériel de siège actuel il y aurait peu de choses à dire et nous ne nous y arrêterons pas.

Si dans le matériel de campagne, l'artilleur se heurte à chaque instant aux difficultés particulières qui résultent de l'absence de point d'appui sur le sol, il en est autrement pour le matériel de bord, car, dans ce cas, la pièce est solidement fixée sur une plate-forme résistante.

Le matériel trouve alors un point d'appui ferme, et le problème comporte au point de vue de l'Ingénieur des solutions beaucoup plus nombreuses et plus intéressantes.

Je me bornerai à passer rapidement en revue les progrès réalisés pendant ces dernières années en ce qui concerne l'artillerie de bord, et à les indiquer seulement dans leurs grandes lignes.

Bien qu'elles semblent rester en dehors du sujet ces considérations générales sont nécessaires pour fixer certaines idées avant d'aborder la question des canons à tir rapide.

Le canon a subi depuis vingt ans une transformation radicale. Pour bénéficier des qualités spéciales des poudres lentes qui, en se détendant, développent une somme beaucoup plus grande de travail lorsque l'espace parcouru par le projectile augmente, on a été conduit à allonger sensiblement les pièces; au lieu d'être gros et court, le canon est devenu élancé et long.

La puissance d'une pièce au point de vue de la perforation des blindages, et c'est là un des principaux objectifs pour les marins, varie avec la puissance vive à la bouche du canon, qui est elle-même proportionnelle au poids du projectile et au carré de la vitesse, d'où la nécessité d'accroître cette vitesse. En outre, en augmentant la vitesse, on a pu obtenir même pouvoir perforant avec un poids de projectile moindre, et même, un pouvoir perforant supérieur, en réduisant le calibre. La réduction du calibre entraine

une réduction de poids malgré l'allongement de la pièce. Nous ne citerons qu'un exemple.

Le canon Canet de 32*cm* de 40 calibres de longueur (1) qui figurait à l'Exposition de 1889, avait été étudié à la demande de M. Bertin, Ingénieur de la marine, qui avait mission de reconstituer la flotte japonaise. Il lançait un projectile de 450 *kg*, avec une vitesse de 730 *m* par seconde en employant les nouvelles poudres, et pouvait perforer à la bouche une plaque de fer forgé de 1,20 *m* d'épaisseur.

Le canon Armstrong de 41 *cm* et le canon Krupp de 40 *cm* avaient exactement la même puissance de perforation, mais le canon Canet pesait 66 *t*, le canon Armstrong 110 *t*, celui de Krupp 121 *t*.

Ces chiffres ne sont évidemment pas rigoureusement comparables, car le canon de 32 *cm* était d'un modèle tout à fait nouveau, tandis que les autres bouches à feu étaient depuis plusieurs années en service. En France surtout, les types actuels en usage dans la marine sont beaucoup plus puissants. Mais cet exemple, qui n'a pas pour but de faire une comparaison de systèmes, indique bien l'influence prépondérante de la vitesse, et combien était juste l'idée qui guidait dans l'étude du tracé de ces nouvelles pièces. Le canon de 32 *cm* était, eu égard au calibre, le plus puissant qui existât à cette époque.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur l'intérêt qui s'attachait à substituer aux canons de 100 *t* une pièce d'un calibre moindre. Tout d'abord, la pièce elle-même pesait 66 *t* au lieu de 110 et 120. De plus, les dimensions et, par conséquent, les poids des tourelles des appareils hydrauliques de manœuvre et de pointage, des cuirassements, des munitions elles-mêmes se trouvaient réduits dans une proportion notable. Lorsqu'il s'agit de construire un navire, l'Ingénieur est toujours très limité par la question de poids. Si, tout en disposant d'une égale puissance, on réduit le poids de l'artillerie, il devient possible, soit de diminuer le tonnage des navires, solution peu en faveur actuellement, soit en conservant le même tonnage, d'augmenter très sensiblement le poids de la cuirasse protectrice, ou mieux, de la machine et des approvisionnements en charbon, d'où il résulte une augmentation du rayon d'action ou un accroissement de la vitesse. Or, la vitesse est actuellement une des qualités maîtresses d'un bâtiment de guerre. C'est une arme à la fois offensive et défensive.

On peut dire que les poudres sans fumée et les canons longs

(1) Ce sont ces canons qui sont entrés en ligne tout dernièrement, lorsque la flotte japonaise a écrasé la flotte chinoise, à la bataille de Yalü.

ont porté un coup mortel aux canons dits de 100 *t* qui n'ont plus leur raison d'être. Mais il est difficile de préjuger de l'avenir, car la puissance que doit avoir un canon est imposée par la nécessité de percer une cuirasse d'une épaisseur et d'une résistance déterminées et les progrès faits par les métallurgistes ne permettent pas à l'artilleur de s'arrêter. Il faut avouer que ceux qui ont à lutter contre les blindages sortis de nos grandes usines françaises comme le Creusot, Châtillon et Commentry, Saint-Chamond, Marrel, etc., etc., ont fort à faire!

Nous indiquerons, en passant, pour nous y arrêter plus loin, les progrès considérables réalisés du fait de l'adoption des freins hydrauliques pour les affûts et les perfectionnements apportés depuis lors en vue d'obtenir des efforts aussi constants que possible, afin de réduire la fatigue des ponts.

Ce qui vient d'être dit au sujet des gros canons nous conduit à parler des tourelles. Les tourelles de navires ne permettaient autrefois le chargement du canon que dans une seule position, ce qui obligeait après chaque coup, à revenir dans une orientation déterminée.

Désormais, les tourelles sont munies d'un tube central pour le passage des munitions, le chargement peut se faire dans toutes les positions, le pointeur suit le but dans tous ses mouvements. Pendant ce temps, les autres manœuvres se font indépendamment de lui. C'est là un progrès considérable qui augmente la rapidité du tir.

Ces dispositions ont été appliquées pour la première fois par M. Canet aux tourelles installées à bord des cuirassés : *Marceau*, *Pélayo*, et des canonnières : *Achéron*, *Phlégéton*, *Cocyte* et *Styx*.

Les tourelles ont été équilibrées autour de leur axe afin de réduire les efforts de pointage en direction pendant les mouvements de roulis du navire. Les efforts étant réduits, il a été possible de combiner les manœuvres électriques et les manœuvres à la main, ce qui permet de faire usage des grosses pièces même en cas d'avaries survenues aux appareils mécaniques. Ces dispositions adoptées sur plusieurs navires présentent à tous égards des avantages considérables sur les anciennes installations hydrauliques. Enfin, dans le but d'avoir une protection efficace avec le moindre poids de cuirassement possible, on a été conduit à accoupler les canons dans une même tourelle.

Il est peu de parties du navire qui aient subi autant de perfectionnements que les tourelles.

Il est vrai de dire qu'elles se prêtent admirablement aux diverses applications mécaniques et sont pour l'Ingénieur un terrain très fécond.

La loi presque constante en artillerie, comme pour bien d'autres choses, du reste, est de compliquer toujours en perfectionnant le plus possible les organes au point de vue mécanique afin d'avoir des manœuvres automatiques, des appareils de sécurité, etc. Puis, peu à peu, on s'aperçoit que la complication est trop grande et on revient aux organes simples et aux manœuvres à la main. Nous sommes en ce moment dans une période de simplification. Fort heureusement, car, en compliquant, on avait véritablement dépassé toute mesure. A première vue, et lorsqu'on a visité les belles installations de nos cuirassés, les tourelles qui se construisent actuellement peuvent sembler à un Ingénieur moins ingénieuses et trop simples; en réalité, la simplicité est, au point de vue militaire, une qualité de premier ordre.

L'étude du matériel d'artillerie et la solution des divers problèmes qu'elle comporte donnent lieu à des difficultés spéciales.

En artillerie, il faut compter avec des efforts instantanés. Il n'y a aucune assimilation possible avec une machine dont on peut arrêter le mouvement si les pièces chauffent. Si le matériel d'artillerie n'a pas la résistance voulue, il se brise.

Les efforts instantanés et considérables qui s'exercent pendant des dixièmes de seconde donnent lieu à des phénomènes spéciaux qu'enseigne la pratique, mais qui déroutent au point de vue scientifique et que la théorie ne permet pas toujours de prévoir. Par contre, l'inertie et l'élasticité interviennent souvent, dans une mesure qu'il est difficile d'évaluer; la théorie ne fournit que des données incomplètes sur la résistance élastique des enveloppes, les efforts longitudinaux dans les tubes, l'écoulement des liquides dans les freins, l'élasticité des plates-formes, l'action sur les organes de commande, etc.

Il faut un matériel ajusté au centième de millimètre et en même temps robuste, presque rustique, résistant aux intempéries, à l'action de l'eau et aux traitements *énergiques* des matelots, gens soigneux, mais souvent un peu brusques et forcément inexpérimentés quand il s'agit de nouveaux types.

Pour qu'on se rende compte de la valeur d'un matériel, il faut qu'il ait fonctionné et qu'on ait tiré un grand nombre de coups.

Une bouche à feu ne peut être classée tant qu'elle n'a pas été longuement expérimentée. Or, cette expérience coûte cher; il

faut un polygone, du matériel, du personnel habitué à son maniement. Un kilogramme de certaines poudres sans fumée revient à 12 et même 15 *f*, on voit ce que coûtent des tirs de rapidité. Il faut aller pas à pas, et méthodiquement.

On rencontre donc des difficultés toutes spéciales quand il s'agit de matériel de guerre.

C'est là précisément ce qui doit rendre indulgent pour tous ceux auxquels incombe le rôle difficile de maintenir notre armement à la hauteur des progrès modernes.

S'ils se hâtent d'adopter des perfectionnements nouveaux, on les en félicite d'abord, et si le succès ne répond pas aux espérances conçues, on est prompt à les blâmer, en les taxant de légèreté.

S'ils attendent, pour faire les commandes, qu'un type soit mieux établi, qu'il ait reçu la sanction de l'expérience, on les accuse de coupable inertie. Il ne faut pas oublier pourtant, que, dans un pays puissamment armé, le moindre changement dans le matériel a pour conséquence des dépenses de centaines de mille francs et de millions quelquefois, lorsqu'il s'agit de modifications importantes.

Le juste milieu est difficile à tenir, les critiques qu'adressent des gens, en général, peu préparés sur ces questions, sont quelquefois justes, elles servent à tenir l'attention en éveil, mais il faut de l'indulgence pour ceux qui ont la lourde responsabilité des décisions à prendre et se bien persuader que si la plupart des censeurs avaient la même tâche à remplir, ils ne feraient probablement ni mieux, ni plus vite.

Il ne serait pas possible, — sans mériter un rappel au sujet, — de s'étendre davantage sur ces généralités qui étaient pourtant nécessaires. La question la plus intéressante et la plus actuelle est l'artillerie à tir rapide. C'est à cette étude que nous nous limiterons dans la suite de ce travail.

L'artillerie à *tir rapide* est née de la nécessité dans laquelle se sont trouvées les puissances maritimes de disposer d'engins plus efficaces que les anciens canons, contre les croiseurs et les torpilleurs qui sont animés de vitesses très grandes et qu'il faut arrêter, à tout prix, dans un temps très limité.

L'accroissement de la vitesse des navires et la puissance des moyens de destruction font qu'actuellement, sur mer, comme sur terre, les actions seront probablement de courte durée. L'avantage restera, à forces à peu près égales, à celui des assaillants

qui, le premier, aura ouvert à grande portée contre son adversaire, un feu rapide avec un tir suffisamment précis.

Faire le plus de mal possible dans le minimum de temps, tel est le but à atteindre.

C'est dans ce but que la mousqueterie a été remplacée par des mitrailleuses disposées dans les hunes.

Contre les torpilleurs, on s'est armé de canons ayant un calibre variant de 37 *mm* à 57 *mm*, simples, permettant une rapidité de tir assez grande. Mais le calibre est faible et ces bouches à feu, qui sont courtes, n'impriment aux projectiles qu'une vitesse initiale relativement réduite.

Les noms de Gatling, Gardner, Maxim, mais surtout de Nordenfelt et d'Hotchkiss restent attachés à tous les travaux faits dans cet ordre d'idées.

Mais la puissance destructive des projectiles s'étant accrue dans une proportion considérable, il a fallu chercher un moyen de mettre hors de service, dès le début de l'action et à distance, l'artillerie de fort calibre qui tire lentement, mais dont chaque coup peut causer d'immenses ravages

Cette augmentation de la puissance offensive a plus d'importance encore depuis l'apparition des poudres sans fumée. Les poudres ont beaucoup modifié les conditions de tactique et un navire n'est plus obligé d'attendre, pour poursuivre le tir, que la fumée se soit dissipée. Le tir peut donc s'effectuer d'une façon continue et sans interruptions. Rien ne vient plus désormais gêner le pointeur qui ne perd pour ainsi dire pas de vue le but à atteindre, et les coups plus répétés et mieux dirigés deviennent beaucoup plus dangereux.

On a donc été conduit par la force des choses à appliquer le tir rapide non plus seulement à des bouches à feu de petit calibre, mais encore à des canons d'un calibre relativement élevé qui désormais ne sont plus un armement accessoire mais constituent une des parties les plus importantes de l'artillerie, même à bord des cuirassés.

En outre, étant donné l'accroissement considérable des vitesses des torpilleurs (27 1/2 nœuds pour le *Chevalier* construit chez M. Normand et 25 1/2 nœuds pour le *Mousquetaire* construit par les Forges et Chantiers de la Méditerranée et ces vitesses seront certainement surpassées), il serait nécessaire que les canons de 47 et de 57 possédassent plus de puissance et plus de tension de trajectoire que ceux qui sont actuellement en service.

On peut déjà prévoir une transformation inévitable et prochaine.

Mais le grand développement de l'artillerie à tir rapide ne provient pas uniquement de la nécessité dans laquelle se sont trouvés les marins d'avoir des engins de cette espèce; il est dû également à des causes qui ont favorisé ce développement.

Les perfectionnements réalisés dans la fabrication du métal ont mis à la disposition de l'artilleur des tubes longs, résistant bien à tous les efforts.

L'invention des poudres sans fumée permet d'atteindre de fortes vitesses, supprime les crasses et les dépôts que donnait la poudre brune, et ne nécessite plus le lavage de l'âme.

La fabrication, désormais bien étudiée, des douilles en laiton, et la mise en place simultanée de la charge du projectile et de l'amorce, permettent de gagner beaucoup de temps en faisant en une seule opération ce qui auparavant en demandait trois.

Enfin, les progrès considérables apportés aux fermetures de culasse en un seul temps et aux dispositions des affûts ont permis de perfectionner peu à peu ce nouveau matériel.

Ce qui précède suffit pour montrer que les canons à tir rapide de gros calibre sont devenus, comme nous le disions plus haut, un des éléments les plus importants de l'armement actuel des navires et sont appelés, surtout si de nouveaux progrès venaient à être réalisés dans la fabrication des poudres, permettant de réduire encore les calibres, à jouer un rôle de plus en plus important dans l'avenir.

Au-dessous du calibre de 16 *cm* toute l'artillerie est désormais à tir rapide.

Pour l'artillerie à tir rapide dite de gros calibre, qui peut être représentée par les calibres de 10 *cm*, 12 *cm*, 15 *cm*, trois systèmes sont en présence, en laissant de côté certaines dispositions spéciales en usage dans la marine française et qu'il ne nous appartient pas de décrire ici.

Le système Krupp ;
Le système Armstrong;
Le système Canet.

Nous ne parlons, bien entendu, que des systèmes éprouvés, comptant des bouches à feu en service, et adoptées par des puissances militaires.

Un certain nombre de bouches à feu, étudiées par différents constructeurs, ont été soumises à des expériences de polygone,

soit en France soit à l'étranger; la science de l'artilleur est aujourd'hui assez avancée pour qu'on puisse construire un canon qui ait une certaine résistance, et, qui dans un polygone et aux premiers essais, fonctionne d'une façon à peu près satisfaisante.

Mais il n'est pas possible de savoir ce qu'une pièce est en mesure de donner tant qu'elle n'a pas été mise en service à bord, et que l'adoption par une marine, à la suite d'essais sérieux, n'est pas venue sanctionner la valeur de ce matériel.

En outre, plusieurs des pièces expérimentées ne sont pas à proprement parler des canons à tir rapide, ce sont des modifications de types existants; elles n'ont été fabriquées qu'après les trois types dont nous parlons qu'elles reproduisent plus ou mois, et seulement à un ou deux exemplaires, ce qui est tout à fait insuffisant pour juger de la valeur d'un système, et nous ne pouvons nous y arrêter.

L'étude est donc naturellement limitée aux trois systèmes Krupp, Armstrong et Canet.

Armstrong a été le premier en date. Il a fabriqué en 1886 et 1887 des canons de 12 *cm* dont la charge était contenue dans des douilles, mais il a conservé jusqu'à ces derniers temps la fermeture à trois mouvements distincts. Son système est adopté en Angleterre et en Italie, il a livré des canons à divers pays notamment à ceux de l'Amérique du Sud.

Krupp a persisté à faire usage du coin cylindro-prismatique se manœuvrant sur le côté, qui présente au point de vue de la rapidité du tir de sérieux inconvénients.

L'Allemagne a adopté ce système auquel renoncent peu à peu un grand nombre de pays. Il y a certainement dans le coin un défaut de principe, mais les Allemands ne veulent pas en convenir pour ne pas condamner eux-mêmes leur matériel, diminuer son prestige et être obligés de renouveler leur armement.

Diverses publications techniques ont donné la description des canons Krupp et Armstrong, cette étude nous entraînerait bien au delà des limites qui nous sont fixées.

Du reste, ce qui nous intéresse surtout c'est ce qui se fait en France et par l'industrie française. Nous n'entrerons donc dans les détails que pour les canons Canet.

Les canons Canet ont été adoptés, après concours, par la Russie. En France, il y a déjà un certain nombre de ces canons à bord de plusieurs bâtiments de la flotte. En outre, divers pays étrangers,

le Chili, le Japon, les États-Unis, en ont commandé pour leur armement; ils ont été adoptés en Grèce.

Ce système a donc fait ses preuves et sa mise en service chez deux puissances amies suffit à lui donner un intérêt particulier et à expliquer que nous en fassions ici une étude aussi complète que possible.

Il peut être intéressant, avant d'étudier le matériel lui-même, de dire quelques mots de l'atelier où il est construit, et du polygone où il est expérimenté.

L'atelier d'artillerie de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée est situé au Havre.

Il est formé de quatre nefs de 126 *m* de longueur.

Au milieu, l'atelier de fabrication des gros canons, sur les côtés, les machines-outils de moindre importance, l'usinage des petits canons, des pièces de culasse, des affûts, des tubes lance-torpille, des projectiles, etc.

La grande nef est desservie par des ponts roulants de 60 et 30 *t*.

Le frettage se fait dans des puits spéciaux chauffés au gaz; les grands tours peuvent usiner des pièces ayant jusqu'à 14 *m* de longueur.

La direction de cet atelier est confiée à M. le commandant Roger, ancien directeur de la Manufacture de Puteaux, qui a installé lui-même toute cette fabrication.

Le polygone d'essai des bouches à feu est à la pointe du Hoc, près du Havre; il est relié aux ateliers par une voie ferrée.

Six plate-formes permettent de mettre les canons en batterie pour faire les tirs. Le montage se fait au moyen d'un transbordeur de 100 *t*.

On exécute soit des tirs dans des chambres à sable pour l'étude des vitesses et des pressions, soit des tirs balistiques en mer. La proximité de la mer permet de tirer à toute distance, d'essayer les affûts à tous les angles et d'expérimenter avec une grande précision les méthodes de tir pour le matériel de bord et les batteries de côte (1).

(1) Voir le *Génie Civil*, 1889.

II. — HISTORIQUE DES CANONS CANET

Après avoir examiné quelles sont les causes qui ont fait naître, en quelque sorte, le canon à tir rapide de gros calibre et qui ont contribué à son développement, il ne sera pas sans intérêt d'étudier de près les phases, on pourrait presque dire les tribulations, par lesquelles a passé le canon Canet.

Les premières études datent de 1887 et 1888 ; la question du tir rapide était à l'ordre du jour; Les Anglais s'en occupaient activement. M. Canet fit breveter plusieurs dispositions et construisit des modèles pour étudier expérimentalement le fonctionnement de la culasse et l'agencement des diverses pièces.

Ces premiers essais permirent de poser immédiatement quelques principes qui guidèrent pour les travaux ultérieurs; mais les leçons données par l'expérience conduisirent à apporter successivement un grand nombre de perfectionnements.

A cette époque, bien peu de gens croyaient à la réalisation pratique du canon à tir rapide pour les calibres moyens et on considérait à peu près comme des utopies toutes les recherches faites dans cet ordre d'idées.

Canon.

Dès le début, il fut admis en principe que le canon aurait une grande longueur d'âme : 45 à 50 fois le calibre. En vue de l'Exposition de 1889, trois canons de 48 calibres de longueur, du calibre de 10 *cm*, 12 *cm*, 15 *cm* furent mis en fabrication.

La construction était simple : un tube d'une épaisseur relativement grande, renforcé à l'arrière par des manchons à agrafes avec serrage transversal et serrage longitudinal.

Les éléments étaient, le plus possible, réguliers de forme, par conséquent d'une trempe facile et peu nombreux, en vertu de ce principe, trop souvent méconnu, que plus les éléments sont nombreux, plus les chances d'imperfection dans l'usinage et dans l'assemblage sont multipliées.

La culasse était logée dans le tube lui-même.

Le canon présentait une égale résistance dans le sens longitudinal et dans le sens transversal.

Dans les canons Canet les chambres ont eu dès le début de grandes dimensions, ce qui permettait d'employer de fortes

charges, et par conséquent, d'obtenir de grandes vitesses initiales. En Angleterre, au contraire, les bouches à feu avaient des chambres généralement trop petites.

Culasse.

Dans un canon à tir rapide, la fermeture de culasse est une des parties les plus importantes.

Il ne pouvait être question de prendre le coin; la vis de culasse française s'imposait, surtout pour des canons de fort calibre.

Les premiers essais furent faits avec une vis de culasse de forme tronconique, qui avait du reste, déjà été appliquée, dès 1883, aux tubes lance-torpille *(fig. 1, Pl. 120)*.

Le but de cette forme tronconique était de réduire et, dans certains cas, de supprimer la course qu'il est nécessaire de donner à la vis de culasse pour la faire sortir de son logement, avant de commencer le mouvement de rotation de la console. Ce système semblait devoir, *à priori*, augmenter légèrement la rapidité du tir.

Des modèles furent exécutés, mais on renonça bientôt à cette disposition, en présence des inconvénients qu'elle entraînait :

Trop grand découpage à l'arrière du canon, ce qui affaiblissait le tube.

Mauvaise répartition des efforts.

Difficultés sérieuses d'exécution et portage défectueux des filets de la vis dans leur écrou.

En outre, le gain de la rapidité dans le tir était insignifiant et pouvait être compensé par un bon agencement des organes de manœuvre.

Ce n'est donc qu'après essais que M. Canet renonça définitivement à la vis tronconique pour prendre la vis cylindrique dont la construction est plus simple, qui donne une meilleure répartition des efforts et dont le portage peut être obtenu dans des conditions plus satisfaisantes.

La vis tronconique n'a, du reste, de raison d'être qui si l'on conserve les trois mouvements d'ouverture de culasse.

Dès le début, il fut décidé que la manœuvre de la culasse se ferait par un seul mouvement de levier afin d'éviter les trois mouvements ordinaires et de rendre aussi rapide, aussi mécanique, aussi automatique que possible l'action du servant.

Le problème pouvait se résoudre de plusieurs façons. Différents modèles furent expérimentés, entre autres, une culasse à

vis héliçoïdale dans laquelle le mouvement de rotation se transformait en mouvement de translation pour faire sortir la vis de son logement *(fig. 2, Pl. 120)*. M. Canet se décida, après divers essais, pour une manœuvre commandée par une levier mobile dans un plan horizontal.

Ce levier est calé sur un axe vertical qui porte un pignon d'angle, engrenant avec un secteur denté monté sur la vis culasse. Quand on agit sur le levier le mouvement de rotation se transmet par l'intermédiaire d'engrenages, à la vis qui décrit un huitième de tour et se dégage de son écrou, puis, en continuant à actionner le levier, on retire la vis vers l'arrière en la faisant glisser sur la console. Enfin lorsqu'elle est complètement sortie du canon et portée sur la console, en poursuivant le mouvement du levier on fait pivoter l'ensemble du mécanisme, vis et console, sur le côté, et l'entrée de la chambre se trouve complètement dégagée.

La fermeture de culasse se fait en agissant sur le même levier en sens inverse.

La première pensée avait été, dans le but d'augmenter la rapidité du tir, d'opérer mécaniquement et automatiquement l'ouverture de la culasse, non pas pendant le recul, mais pendant le retour en batterie, au moment où la combustion dans la chambre étant terminée, il n'y a plus à craindre des projections de gaz enflammés. Un levier venant buter sur une tringle à ressort agissait sur un levier de manœuvre et remplissait exactement l'office du bras du servant.

Cette disposition compliquait beaucoup l'affût et ne donnait qu'un gain de rapidité peu appréciable, puisqu'il fallait toujours le temps de charger et de pointer; on en revint donc à la manœuvre exclusivement à bras, plus simple, aussi rapide pour des canons de cette espèce et beaucoup moins brutale.

L'extraction se faisait au moyen de griffes qui saisissaient le culot de la douille.

Il fut admis, d'une façon absolue et dès l'origine, qu'il ne serait pas fait usage des extracteurs adoptés dans divers systèmes, qui éjectent violemment la douille. La douille ainsi projetée peut être détériorée et les servants qui se trouvent derrière la pièce sont exposés à être blessés.

Au moment où eurent lieu les premières expériences la mise de feu électrique était très en faveur. Le principe consiste à faire passer un courant qui rougit à l'intérieur de l'amorce, un fil de

platine de faible diamètre, qui, par l'élévation de la température, détermine l'inflammation de la charge de l'étoupille.

Cette mise de feu, qui présente sur la mise de feu au moyen d'étoupilles à percussion le grand avantage que l'amorce n'est pas sensible au choc, est d'une réalisation pratique assez difficile.

On constate souvent des défauts de contact. Les amorces à percussion, qui sont plus régulières, sont généralement préférées.

Dans le système que nous étudions les étoupilles se vissent au culot des douilles au moment du combat. On évite ainsi les dangers pendant la manutention, et si une amorce a donné lieu à un raté il est très facile de la remplacer presque instantanément, sans vider la douille et sans avoir à manipuler la charge.

Affût.

L'affût n'a pas, pour le matériel qui nous occupe, une importance moins grande que n'en ont les canons, car s'il ne permet pas les manœuvres faciles et rapides tous les perfectionnements réalisés sur la bouche à feu elle-même et la fermeture de culasse restent sans effet.

Il doit donc être spécialement étudié pour ces canons, et former avec la pièce, en quelque sorte, un tout complet.

On conserve toujours dans les affûts à tir rapide les dispositions générales ; l'affût proprement dit, qui porte le canon, est muni des organes de frein ; le châssis, qui soutient l'affût proprement dit et est mobile en direction, et, enfin, la sellette, qui est fixée sur le pont et supporte elle-même le châssis.

Plusieurs principes guidèrent dans l'établissement des projets.

D'abord, il fallait un affût simple, peu encombrant, se manœuvrant facilement en hauteur et en direction, d'où la nécessité d'équilibrer les poids autour des tourillons pour le pointage en hauteur, et, comme il faut prévoir le cas où il y aurait du roulis, autour du pivot de la sellette pour la manœuvre en direction.

Il fallait que le retour en batterie fût automatique et rapide, quelle que fût l'inclinaison du canon, afin qu'on n'ait pas à craindre, de ce chef, des ralentissements dans le tir.

Enfin, il importait que le pointeur eût les volants de manœuvre commodément placés sous la main, qu'il ne fût pas dérangé par les opérations du chargement, qu'il pût constamment conserver l'œil sur la ligne de mire et suivre le but dans tous ses déplacements, comme avec une arme portative.

Cette condition exigeait que le canon reculât suivant son axe,

la ligne de mire restant fixe pendant le mouvement de la pièce, tandis que, lorsque le canon remonte sur les glissières inclinées du châssis comme dans les affûts ordinaires en usage actuellement *(fig. 12, Pl. 121)*, cette ligne de mire se déplace parallèlement à elle-même et le pointeur ne peut pas, à tout instant, suivre le but.

La suppression des glissières de châssis formant plan incliné et déterminant le retour en batterie, avait comme conséquence nécessaire, l'emploi de ressorts pour ramener la pièce aussitôt après le tir dans sa position primitive.

D'où une modification complète dans la construction de l'affût proprement dit, et dans l'agencement des freins.

Enfin, les bouches à feu augmentant sans cesse de puissance, il importait de chercher à diminuer les réactions sur les ponts, et de rendre l'action des freins aussi régulière que possible.

Pour étudier pratiquement les valeurs respectives des divers types d'affûts, M. Canet construisit, en 1888, trois modèles différents qui figurèrent à l'Exposition en 1889 et furent soumis aux épreuves de tir.

Ces affûts étaient destinés à des bouches à feu de 10 *cm*, 12 *cm* et 15 *cm*, d'une longueur uniforme de 48 calibres.

Pour les trois types nous retrouvons l'application du même principe : suppression de la gravité pour déterminer le retour en batterie, et emploi des récupérateurs.

L'affût de 15 *cm* *(fig. 11, Pl. 121)* était à châssis fixe comme les affûts ordinaires de bord, mais les glissières étaient horizontales, ce qui diminuait beaucoup la percussion sur les ponts. A cet égard, l'affût avait beaucoup d'analogie avec celui de 14 *cm* construit par M. Canet deux années auparavant pour l'armement du *Gabriel Charmes*, le bateau-canon de l'amiral Aube, qui eut un moment de célébrité, donna lieu à de si vives polémiques et est redevenu, depuis, un simple torpilleur.

La ligne de mire reculait avec le canon, mais suivant une même ligne horizontale. Les pointages étaient faits par deux servants séparés. Il avait été prévu une manœuvre électrique pour le pointage en hauteur et en direction. La commande se faisait au moyen d'un commutateur unique placé sur le côté gauche, le pointeur manœuvrant le levier du commutateur dans le sens où il voulait voir le canon se déplacer.

Le courant était fourni par des accumulateurs Commelin et Desmazures, au cuivre, zinc et liquide alcalin. Ce sont les accu-

mulateurs qui furent employés, vers la même époque, à bord du navire sous-marin le *Gymnote*.

Cet affût, qui fonctionnait à l'Exposition au moyen de ses appareils électriques, a été décrit dans le *Génie Civil* en 1890. C'était la première application pratique de l'électricité à la manœuvre des affûts.

Le second type d'affût, celui de 12 *cm*, était à châssis oscillant ; le canon, qui n'avait pas de tourillons, était encastré, au moyen d'adents, dans un berceau portant le frein hydraulique. Ce frein était à deux cylindres et à contre-tige centrale. Les deux cylindres (*fig. 9, Pl. 121*) étaient placés de chaque côté, le récupérateur se trouvait à la partie inférieure. Le berceau était lui-même muni de tourillons et porté par des flasques formant la partie fixe du châssis. Sur le côté il était muni d'un secteur pour le pointage en hauteur.

La ligne de mire ne participait pas au mouvement de recul du canon, mais suivait le châssis mobile dans tous ses déplacements en hauteur.

Le pointage en hauteur et le pointage en direction étaient faits par des servants distincts, placés sur le côté gauche.

Le troisième type d'affût avait été étudié pour le canon de 10 *cm* (*fig. 8, Pl. 120*). Il était comme le précédent, à châssis oscillant, mais il présentait cette particularité que le canon était muni d'une collerette remplissant en quelque sorte l'office de piston de frein, et que la pièce reculait dans le manchon faisant lui-même cylindre de frein.

L'affût était muni d'un récupérateur à ressort. Les manœuvres de pointage en hauteur et en direction étaient confiées à un seul pointeur.

Cet affût était muni du dispositif pour la manœuvre automatique de la culasse, dont nous avons parlé plus haut.

Ces trois affûts furent expérimentés au champ de tir de la marine, à Sevran-Livry, et au polygone des Forges et Chantiers de la Méditerranée, au Hoc, près du Havre. Ces premiers essais servirent à fixer les idées et montrèrent dans quelle voie on pouvait poursuivre les recherches pour réaliser un type satisfaisant d'affût à tir rapide.

L'ouverture automatique de la culasse fut supprimée ; la troisième disposition, celle de l'affût de 10 *cm* dans laquelle le canon portait le piston de frein, avait quelques inconvénients et on y renonça provisoirement.

L'affût ordinaire, à châssis horizontal, ne donnait pas complète satisfaction au point de vue de la précision et de la rapidité des manœuvres.

Les expériences montrèrent que l'affût à châssis *(fig. 9, Pl. 121)* oscillant avec récupérateur à ressort, celui du canon de **12** *cm*, répondait le mieux aux desiderata de l'artillerie à tir rapide à condition qu'il fût apporté quelques modifications au type primitif.

La culasse reçut différents perfectionnements. On y ajouta notamment des appareils de sécurité contre les mises de feu prématurées, le dévirage et l'ouverture de la culasse en cas de long feu.

Afin de restreindre les dimensions de l'affût en largeur, et, par conséquent, la surface exposée aux coups de l'ennemi, on fut conduit à placer les cylindres de frein en dessous du canon et non sur les côtés.

Le frein et le récupérateur furent étudiés, bien entendu, de façon à éviter un retour en batterie trop brusque, avec chocs, qui peut détériorer le matériel. On reconnut qu'il n'y avait pas avantage à réduire le recul dans de trop fortes proportions car on était conduit à des efforts trop considérables sur les ponts. Cette dernière considération a une grande importance pour un matériel destiné à être mis en service à bord.

Les manœuvres électriques avaient bien fonctionné, mais on y renonça pour les petits affûts; la manœuvre uniquement à la main est beaucoup plus simple. Toutefois, l'électricité jugée inutile pour les petits et les moyens calibres, ne fut pas abandonnée. A la suite de ce premier essai, M. Canet en fit des applications nombreuses, et qui furent couronnés de succès, à la manœuvre des canons de gros calibre et des tourelles.

Le principe de mettre entre les mains d'un pointeur unique les deux manivelles de manœuvre en hauteur et en direction fut définitivement consacré. On fut conduit également à étudier les moyens de mettre à sa portée les organes de commande de la mise de feu.

En ce qui concerne les douilles, ces premiers essais permirent de réaliser de très grands progrès, et dans le tracé, et dans la fabrication elle-même. A l'origine, presque à chaque coup, il se produisait des fentes, des cloques, des gonflements qui amenaient des duretés, rendaient le tir rapide, pour ainsi dire impossible, et mettaient les douilles hors de service. Lors des premiers tirs faits à Sevran-Livry avec les canons Canet, on tirait trois ou quatre coups en quatre heures et toutes les douilles étaient détériorés,

on souriait alors — c'était en 1890 — quand il était question du tir rapide. Actuellement la rapidité du tir atteint huit, dix, douze coups à la minute et une douille peut resservir sept ou huit fois.

Le problème était extrêmement difficile à résoudre. Si les artilleurs n'avaient pas eu de bonnes douilles, et s'il n'avait pas existé des procédés de fabrication simples et économiques pour usiner les douilles de grandes dimensions, le canon à tir rapide n'aurait certainement pas pu prendre le développement auquel il est parvenu.

Données balistiques.

Le très court aperçu que nous venons de donner sur les expériences faites avec ce matériel ne serait pas complet si nous n'indiquions les résultats obtenus au point de vue balistique.

Les canons furent essayés à des pressions atteignant 3 000 à 3 500 *atm* par centimètre carré, la résistance fut excellente. Les volées de ces canons déjà longs, puisqu'ils avaient 48 calibres, se comportèrent parfaitement

Quant aux vitesses obtenues, elles étaient de 800 et même de 880 *m* dans le canon de 15 *cm* avec de fortes pressions. Aux pressions normales de service, de 2 400 à 2 500 *kg* par centimètre carré, on atteignait couramment 800 *m* avec certaines poudres.

L'épaisseur de la plaque perforée est, dans ce cas, de 60 *cm* environ. Ces canons peuvent donc percer à la bouche une plaque de fer forgé ayant comme épaisseur, environ quatre fois leur calibre.

Ces chiffres étaient obtenus en mai 1890. A cette époque, même aucun canon en service ne donnait une vitesse atteignant 700 *m*. Il y avait donc là un résultat important, obtenu avec les canons Canet, avec une avance de près de deux ans sur les autres constructeurs.

L'accueil fait, au début, aux canons à tir rapide, fut assez froid. On ne croyait généralement pas à la possibilité d'un tir vraiment rapide pour les calibres supérieurs à 10 *cm*.

Il ne paraissait pas possible de placer un projectile de gros calibre à l'extrémité de la douille ; la façon dont ces douilles se comportaient semblait du reste être un obstacle difficilement surmontable qui s'opposerait toujours à la rapidité du tir ; leur emploi ne paraissait pas, à cet égard, devoir simplifier les manœuvres, mais au contraire les compliquer.

La mise en service des canons longs rencontrait de nombreux

adversaires ; on prédisait, surtout avec des canons non frettés à la volée, des ruptures ou tout au moins des flexions dangereuses.

La vitesse initiale et la tension de la trajectoire n'étaient pas regardées comme ayant une importance capitale. Les vitesses de 800 et 880 *m* étaient considérées comme des résultats de polygone, des chiffres à effet, qu'il n'était pas possible d'obtenir dans la pratique. M. Krupp engagea à ce sujet une polémique des plus acerbes, prétendant juger un canon comme une machine, uniquement d'après le rendement d'un kilogramme de poudre ou de métal, ce qui est absolument inexact ; depuis lors, il a dû se rendre à l'évidence.

L'ouverture de la culasse en un seul temps ne paraissait pas nécessaire ; bien des artilleurs préféraient conserver les trois mouvements successifs auxquels les marins étaient parfaitement accoutumés.

Tout dépend, disait-on, de la valeur du canonnier. Cela est vrai, dans une certaine mesure, mais la valeur de l'outil n'en a pas moins une importance considérable. Ce n'est pas l'habileté de main du canonnier ou du mécanicien qui donne au navire la vitesse qui lui manque ou au canon la puissance vive qui lui est nécessaire pour percer un blindage d'une épaisseur déterminée.

On reprochait aussi aux affûts de comporter trop de ressorts d'organes délicats, en un mot d'être trop compliqués. Ce sont évidemment des engins un peu plus compliqués que les anciens types à châssis, mais ils présentent plusieurs avantages très considérables qui, en artillerie comme ailleurs, ne s'obtiennent qu'au prix d'inconvénients inévitables qu'il faut savoir accepter.

Tout cela dépend de la façon dont le problème est posé. Ainsi, comme nous l'avons vu, pour réduire la largeur de l'affût, il est nécessaire de placer les cylindres de freins au-dessous du canon. Les organes sont mieux protégés, mais ils sont plus difficiles à atteindre et à visiter.

Les avantages d'un retour en batterie lent ne s'obtiennent qu'en ajoutant aux organes du frein une soupape, et au prix d'une complication un peu plus grande de ces organes.

Si le pointage se fait vite, l'effort à développer augmente. Par contre, si l'on juge que le pointeur ne doit exercer qu'un effort insignifiant, ce qui est parfaitement juste, il faut se résoudre à n'avoir qu'une manœuvre lente.

Les affûts et les tourelles équilibrés demandent évidemment une étude des plus minutieuses et des soins pour la répartition

des poids; à chaque augmentation de poids faite d'un côté de l'axe de rotation, doit correspondre une addition de poids du côté opposé. Mais ces inconvénients sont compensés par le grand avantage d'une manœuvre plus facile et de la possibilité d'actionner ces engins à bras.

Il n'y a, du reste, rien d'absolu à cet égard.

Un matériel d'artillerie ne sera donc jamais à l'abri de critiques et de critiques fondées. Tout dépend du point de vue auquel on se place.

En dehors même de ces objections techniques, il avait été admis, au début, en France, que la mise en service des canons à tir rapide n'était pas une chose immédiatement nécessaire et qu'on pouvait se contenter de transformer le matériel existant.

En soi, toute transformation d'un matériel qui n'a pas été fait en vue du but précis à atteindre, ne peut pas donner des résultats très satisfaisants, surtout pour le matériel à tir rapide, qui doit répondre à des exigences déterminées, et former un ensemble, un tout, parfaitement défini.

Dans l'espèce, cette transformation qui, au point de vue budgétaire ne nécessitait pas des dépenses considérables, avait des avantages réels. Mais on ne pouvait la considérer que comme une mesure tout à fait momentanée et transitoire, en ne perdant pas de vue qu'il était nécessaire, pour arriver à la vraie solution du tir rapide, d'avoir un matériel nouveau et étudié de toutes pièces.

Les canons qu'on transformait n'avaient qu'une vitesse réduite et étaient montés sur des affûts ordinaires, ce n'était donc qu'un matériel d'attente.

Sur ce point il y a peut-être eu trop d'hésitation à l'origine. Mais cette question a fait, depuis, de la part de la marine française, l'objet d'études très sérieuses en vue d'arriver à une solution complète et absolument satisfaisante.

Les expériences du matériel Canet ne furent pas moins poursuivies; il y avait déjà un résultat acquis, la possibilité d'avoir des canons longs, un type satisfaisant d'affût, et des vitesses dépassant 800 *m*. Il a fallu quatre ans d'essais persévérants et de perfectionnements successifs pour arriver au modèle actuel.

3° Un mécanisme avec enclenchement automatique, permettant au pointeur de faire feu, sans effort, en appuyant sur une simple gâchette, de la position qu'il occupe près des volants de manœuvre en avant de la fermeture de la culasse.

4° Les extracteurs ont subi divers perfectionnements.

5° Enfin, la culasse comporte un mécanisme qui peut servir à la fois à la mise de feu mécanique et à la mise de feu électrique, suivant qu'on juge avantageux d'employer l'une ou l'autre.

Affût.

De toutes les parties du matériel, l'affût est certainement celle qui a subi le plus de modifications ; on s'est constamment efforcé, afin d'augmenter la rapidité de manœuvre, de diminuer les efforts à exercer pour le pointage (*fig. 14 et 15, Pl. 119*), ce qui a conduit :

A chercher de plus en plus à équilibrer les parties tournantes ;

A supprimer les frottements entre les châssis et la sellette ;

A combiner de la meilleure façon possible les organes de commande.

En artillerie, on est conduit généralement à employer comme organes intermédiaires les vis sans fin afin d'éviter la réversibilité des appareils de commande, soit au roulis soit pendant le tir. Il en résulte des frottements considérables et une diminution très appréciable du rendement, mais il n'est pas possible de faire autrement.

Un servant qui n'a que des manœuvres de force à exécuter peut développer des efforts considérables à la manivelle, mais lorsqu'il s'agit d'un pointeur qui a sous la main les deux volants de manœuvre et qui, en même temps, doit conserver l'œil sur la ligne de mire, il est nécessaire de s'en tenir à un chiffre très réduit.

Toutes choses égales d'ailleurs, en diminuant l'effort on diminue la vitesse du pointage, mais le pointage est plus précis ; il y a donc compensation. Du reste, tout ce qu'on peut exiger, c'est que deux navires filant vingt nœuds et se croisant à 200 *m* environ puissent se suivre avec leur artillerie. Il est, en somme, inutile de chercher à obtenir une rapidité de manœuvre plus grande.

Le pointeur a été définitivement placé sur le côté (*fig. 6, Pl. 120*), en avant de la culasse, de façon que toutes les manœuvres de chargement puissent se faire derrière lui et indépendamment de lui.

De cette façon, il n'est pas dérangé par les autres servants et

n'est pas incommodé par les gaz délétères qui sortent du canon au moment où la douille est retirée de la chambre. Il a sous la main les volants de pointage en hauteur et en direction et la mise de feu.

Dans les canons du type chilien (*fig. 10, 13 et 14, Pl, 121*), le pointage en hauteur et le pointage en direction étaient commandés, d'après la demande expresse de la Commission chargée de surveiller l'exécution de ce matériel, au moyen d'une seule manivelle manœuvrée de la main droite. Avec la main gauche, le servant embrayait l'arbre de commande, soit avec le mécanisme de pointage en direction, soit avec le mécanisme de pointage en hauteur. Cette disposition était un peu compliquée; elle donnait lieu à des méprises, car il fallait une manœuvre spéciale pour passer d'un pointage à un autre; les deux volants séparés et indépendants sont plus commodes et donnent au pointeur beaucoup plus d'assurance et de précision.

Toutes les recherches pratiques ont donc porté sur la meilleure manière de disposer ces manivelles. On a été conduit à mettre les volants à peu près à la même hauteur et à les incliner l'un par rapport à l'autre. Le pointeur dont l'épaule est appuyée sur une crosse, manœuvre un volant de chaque main.

A cette question de pointage se rattache celle du nombre et de la répartition des servants.

On compte toujours : un pointeur aux manivelles,

Un servant qui ouvre et ferme la culasse,

Un ou deux servants pour charger,

Un servant pour enlever les douilles.

Le nombre total des servants pour la manœuvre des munitions dépend du calibre de la pièce et des facilités plus ou moins grandes dont on dispose à bord pour effectuer ces manœuvres.

Dans certains cas, les canons ne sont pas montés isolément sur leur affût. Afin de les mieux protéger, on les dispose en tourelle fermée. Ils sont alors accolés l'un à l'autre.

Cette disposition a été adoptée pour la première fois sur les cuirassés type Lagane, à bord du *Capitan-Prat* pour des canons de 12 *cm* et ensuite à bord du cuirassé le *Jauréguiberry*, qui en dérive, pour des canons de 14 *cm*.

C'est une solution avantageuse à certains égards, en ce sens qu'elle permet une protection efficace sans atteindre des poids trop considérables, mais qui a l'inconvénient de mettre les servants un peu à l'étroit pour les manœuvres à tir rapide.

Avant de laisser de côté l'affût et ce qui se rapporte à ses organes généraux, il y a lieu de signaler un perfectionnement important, résultant de la mise en service de petites lampes électriques alimentées par une pile et qui permettent d'éclairer la ligne de mire; on peut ainsi faire le pointage même dans le cas où on aurait à se servir des pièces pendant la nuit.

Frein.

Le frein, cet organe si important, a été l'objet de plusieurs perfectionnements. La supériorité du frein hydraulique est absolument admise désormais. On réduit le recul de la bouche à feu en opposant une résistance déterminée par la perte de force vive subie par le liquide, mis en mouvement et chassé par un piston, qui, pour se rendre d'une face de ce piston sur l'autre, doit passer par des orifices étroits *(fig. 12 et 13, Pl. 119)*.

Les dimensions de ces orifices varient à chaque instant suivant la variation de l'effort du recul qui dépend de la vitesse imprimée à la partie mobile avec le canon, de façon que l'on ait à tout moment dans le cylindre, une pression constante.

La pression étant constante, il n'y a plus à craindre d'à-coups; l'action du tir sur les ponts est plus régulière; c'est un point d'une importance très grande. Mais, pour atteindre ce résultat, il faut pouvoir faire varier les dimensions des orifices suivant une loi quelconque. A cet égard, les valves tournantes, les soupapes chargées de ressorts qui modifient les dimensions des orifices suivant une loi constante ne donnent pas satisfaction.

La meilleure solution paraît être, jusqu'ici, l'emploi des réglettes à ordonnées variables et surtout de la contretige centrale. On voit, du reste, par l'examen des courbes de frein quelles sont les variations de pression dans les divers cas *(fig. 27 à 30, Pl. 119)*.

Ces courbes sont figurées sur la planche jointe. Elles indiquent les variations des vitesses de recul et celles des pressions dans l'intérieur du frein.

Théoriquement, la courbe figurant les variations dans les pressions devrait être une ligne horizontale menée à la hauteur correspondant au chiffre de la pression constante.

Pratiquement, cette courbe présente des oscillations plus ou moins prononcées.

On voit souvent au début ou à la fin du recul des sauts brusques de pression.

Tout naturellement, ces variations se transmettent à la partie fixe de l'affût, et enfin aux ponts du navire en déterminant des à-coups qui les fatiguent beaucoup.

Les freins à valve tournante du système Vavasseur-Canet donnent encore de ces irrégularités de pression.

Les freins Canet à contretige centrale permettent au contraire d'arriver à une courbe se rapprochant beaucoup plus de la courbe théorique.

C'est évidemment la rectification de la courbe qu'il faut tâcher d'obtenir par des expériences méthodiques et grâce à un tracé parfaitement étudié des orifices du frein.

L'écoulement du liquide pendant le retour en batterie s'effectue par des orifices étroits, ménagés dans une soupape, qui, le recul terminé, retombe sur son siège. Grâce à cette disposition, on est absolument maître de la vitesse de retour en batterie qui ne doit pas être trop brusque pour ne pas détériorer les organes de l'affût. C'est là une condition essentielle ; car, si on laisse ouverts les orifices du frein pendant le retour en batterie, le récupérateur agit avec violence. Il faut, en quelque sorte, un frein de retour en batterie comme il y a un frein de recul.

Le retour en batterie est obtenu, soit par l'air comprimé, soit à l'aide de ressorts. Pour les affûts à tir rapide, les ressorts sont généralement employés jusqu'ici.

Toutes ces questions paraissent simples actuellement, mais elles ont fait l'objet de bien des discussions, et quand, en 1879, c'est-à-dire il y a quinze ans, M. Canet donnait dans la *Revue d'Artillerie* la théorie des freins hydrauliques qui étaient à peine connus en France, les freins à lame étant seuls en usage, mais avaient reçu déjà de nombreuses applications en Angleterre dans les affûts Vavasseur, une note de la direction de la Revue spécifiait bien que « l'auteur conservait toute responsabilité de ses assertions et qu'il y avait lieu de faire toutes réserves ».

C'était pourtant une question d'intérêt majeur, car l'emploi des freins hydrauliques permettait de réduire considérablement le recul et de diminuer le poids et l'encombrement des affûts. En outre, le frein hydraulique se règle lui-même automatiquement pour ainsi dire.

Lorsqu'on vit que les nouveaux affûts se comportaient bien chacun voulut avoir inventé un frein hydraulique : c'est dans la logique des choses.

Les percussions, les soulèvements et les efforts de toutes sortes

ont été considérablement réduits par l'emploi d'un bon frein, par la diminution du couple de renversement, par le fait que le canon recule suivant son axe, et enfin grâce aux dispositions nouvelles des châssis et des sellettes.

Ce point avait une importance très grande pour les installations de l'artillerie puissante à bord des navires légers.

Les affûts sont généralement complétés par un masque de protection de dimensions et de formes variables. L'épaisseur d'acier varie de **10** *mm* à **72** *mm*, mais on s'accorde à n'avoir qu'une confiance limitée dans son efficacité.

Il y a encore bien d'autres considérations qui doivent entrer en ligne de compte dans l'établissement d'un projet d'affût, mais ce sujet nous entraînerait trop loin.

Munitions.

Les projectiles sont de plusieurs sortes :

Les projectiles de rupture en acier chromé, qui sont destinés à percer les cuirasses de grande épaisseur.

Les projectiles ordinaires en fonte qui renferment une charge intérieure de poudre brisante.

Les shrapnels ou les engins qui en dévivent, dont l'intérieur est rempli de balles, et qui se fragmentent en éclats meurtriers. Ces projectiles permettent à distance de couvrir d'éclats le pont d'un navire ou de balayer une plage en vue d'un débarquement. Ils sont munis d'une fusée à temps, qui a pour effet comme dans l'artillerie de terre, de déterminer l'explosion en un point précis de la trajectoire.

Enfin, les obus à grande capacité, contenant des charges d'explosifs puissants qui, lorsque le détonateur agit, éclatent, le plus souvent avec un retard voulu, après avoir pénétré dans l'obstacle, et produisent des ravages considérables. C'est une véritable torpille, projetée à distance par le canon, en éliminant les causes de déviation et d'erreur et avec une précision qui ne se rencontre pas dans les lancements de torpilles ordinaires.

La fabrication des douilles s'est beaucoup perfectionnée. Les mêmes douilles peuvent actuellement être utilisées un grand nombre de fois ; leur gonflement n'est plus comme jadis un obstacle à la rapidité du tir.

La poudre sans fumée, découpée en lamelles, est arrimée, à

l'intérieur, sous forme de petits fagots superposés les uns aux autres.

A l'arrière, la douille porte, comme nous l'avons vu, une amorce qui se visse au moment du branle-bas de combat.

Dans le matériel qui nous occupe, le projectile est placé à l'extrémité des douilles, même pour le calibre de 15 *cm* (*fig. 4, 5 et 6, Pl. 119*). On augmente ainsi la rapidité de tir; ce point est hors de doute pour le 10 *cm* et le 12 *cm*; pour le 15 *cm* il y a matière à discussion.

La manœuvre d'une cartouche complète pesant 66 *kg* n'est pas chose facile, surtout lorsqu'il y a du roulis.

Cependant, il est plus aisé de manœuvrer à deux une cartouche de ce poids, sur laquelle les servants ont prise, qu'un projectile de 41 *kg* qu'un homme saisit difficilement.

Au point de vue des érosions dans l'âme et, par conséquent, de la conservation des canons, le fait de monter le projectile sur la douille a de sérieux avantages, car l'obus est poussé à bloc et il ne reste pas de jeu entre la ceinture de cuivre et l'âme de la pièce; sur cette question les avis sont très partagés, mais ce n'est, en somme, qu'une question de détail qui dépend beaucoup de la force musculaire des marins qui ont à faire les manœuvres.

La manutention des cartouches a une grande importance dans le cas à tir rapide. Si on ne dispose pas de monte-charges et d'engins de manœuvre simples et bien appropriés, tous les perfectionnements apportés au canon et à l'affût en vue d'augmenter la rapidité du tir restent lettre morte. C'est là un point qui concerne surtout le constructeur du navire, mais il devrait y avoir, à cet égard, une entente parfaite, qui n'existe pas toujours, entre celui qui fait le bâtiment et celui qui l'arme.

IV. — CONSIDÉRATIONS BALISTIQUES

Quelques indications sont nécessaires pour montrer l'intérêt qui s'attache au point de vue balistique à réaliser de fortes vitesses initiales et à accepter les canons longs malgré leur encombrement et les inconvénients que peuvent présenter ces bouches à feu sous le rapport de l'installation à bord.

La puissance vive imprimée au projectile varie proportionnellement au carré de la vitesse initiale.

La puissance de perforation, ce que l'on recherche surtout lors-

qu'il s'agit de matériel naval destiné à percer les cuirasses, est une fonction de cette puissance vive et du calibre.

L'accroissement de vitesse initiale augmente donc beaucoup l'effet destructeur d'une bouche à feu.

Comme, d'autre part, à puissance vive égale, la puissance de perforation est d'autant plus grande que le calibre est plus réduit, il y a avantage à diminuer le calibre et à allonger le canon pour donner plus de vitesse au projectile *(fig. 26, Pl. 119)*.

Mais la puissance de perforation n'est pas l'unique objectif de l'artilleur, surtout lorsqu'il s'agit de canons à tir rapide, d'un calibre réduit, en définitive, et qui ne sont pas destinés à percer de grosses cuirasses.

Etant donné l'artillerie à tir rapide, la question la plus importante est la tension de la trajectoire.

Pour un même angle de projection, plus la vitesse augmente, plus la trajectoire se rapproche du sol.

Les ordonnées diminuent et, par conséquent un but, un navire, qui n'a jamais qu'une hauteur assez limitée, court d'autant plus de danger d'être rencontré par la trajectoire que cette trajectoire est plus tendue. La zone dangereuse est alors plus grande. On peut définir cette zone dangereuse, l'espace dans lequel un but : de hauteur donnée, est constamment exposé aux coups de l'ennemi. Elle est représentée par la projection de la partie de la trajectoire pour laquelle l'ordonnée est au plus égale à la hauteur H du but.

Par conséquent, tant qu'il se trouvera dans cette zone, un navire de hauteur H sera rencontré par la trajectoire.

Plus la zone dangereuse augmente, plus le navire met de temps à la parcourir. Pendant ce temps l'artillerie ennemie pourra envoyer un plus grand nombre de projectiles et les chances d'atteindre le but se trouvent encore augmentées.

Enfin, les mêmes déplacements du but nécessitent de moindres rectifications de pointage.

Le point le plus important dans le tir rapide, c'est de supprimer pour l'homme la nécessité de mettre à chaque instant la hausse à la graduation voulue et de modifier son pointage.

Il doit n'avoir d'autre préoccupation que de suivre constamment le but en ayant l'œil sur la ligne de mire.

La solution idéale serait évidemment de tirer de but en blanc sans avoir à se préoccuper de la hausse et en modifiant seulement l'angle de tir *(fig. 22, 23, 24 et 25, Pl. 119)*.

C'est une question de vitesse initiale et c'est pour cela que l'on attache, et avec raison, tant d'importance à cette augmentation de vitesse. Nous citerons un exemple emprunté à un article sur les canons longs qui a paru dans la revue *la Marine de France*, du 9 avril 1893, et qui présente la chose sous une forme tangible.

« Les simples indications qui suivent montrent, d'une façon très nette, le parti qu'on peut tirer d'un canon dont la vitesse initiale dépasse les chiffres admis jusqu'ici.

» Supposons qu'on ouvre le feu sur un but de 6 *m* de hauteur (1) avec un canon de 57 *mm* imprimant 1 000 *m* de vitesse au projectile de 2,700 *kg*.

» Il y aura d'abord une première zone dangereuse s'étendant de la bouche à feu au point de rencontre avec le niveau de la mer de la trajectoire dont l'ordonnée maximum est de 6 *m*. Puis, au delà, il y a une seconde zone dangereuse jusqu'à l'intersection avec le niveau de la mer de la trajectoire dont l'ordonnée, à l'extrémité de la première trajectoire, est de 6 *m*.

» La première trajectoire rencontre le niveau de la mer à 1 524 *m* et la seconde à 1 806 *m*.

» Si nous prenons un torpilleur n'ayant que 2,50 *m* de saillie au-dessus de l'eau, les points extrêmes des deux trajectoires correspondantes sont 1 101 *m* et 1 403 mètres. Si l'on suppose deux crans de hausse dont l'un correspond à la première trajectoire et l'autre à la seconde, on tirera d'abord avec le second cran à partir de 1 800 *m* dans le premier cas et de 1 400 *m* dans le deuxième; puis lorsque le but se sera rapproché de 200 *m* environ, le pointeur tirera avec le premier cran, l'œilleton ayant été abaissé de la quantité voulue par une simple pression de la main. On réalise ainsi le tir de but en blanc, d'une façon complète jusqu'à 1 500 et 1 100 *m*, et d'une manière satisfaisante, jusqu'à 1 800 et 1 400 *m*. N'est-ce pas là un résultat d'une importance capitale?

» Pour le canon de 10 *cm* Canet, de 80 calibres, imprimant à un projectile de 13 *kg* une vitesse de 1 000 *m*, les chiffres sont les suivants (2) :

But de 6 *m* : première zone dangereuse, 1 835 *m*; deuxième zone dangereuse, 2 240 *m*.

» But de 2,50 *m* : première zone dangereuse, 1 262 *m*; deuxième zone dangereuse, 1 761 *m*.

(1) Cette hauteur de 6 *m* peut être considérée comme l'élévation moyenne des grands croiseurs au-dessus de l'eau.

(2) Nous prenons ces chiffres parce qu'ils ont paru dans diverses publications.

» Ce canon de 10 *cm* perce à la bouche 50 *cm* de fer forgé.

—	—	—	à 1 500 *m*	30 *cm*	—
—	—	—	à 2 500 *m*	20 *cm*	—

» N'est-ce pas là une bouche à feu suffisamment puissante, même à grande distance, surtout contre des navires cuirassés à 10 *cm*, suivant les idées qui ont cours actuellement ?

» Cette pièce n'a-t-elle pas, en faisant la balance de tous les avantages, une supériorité certaine sur les canons lançant des projectiles beaucoup plus lourds avec une faible vitesse initiale.

» La question du poids du projectile est toujours le gros argument des Allemands et des Anglais, parce qu'ils n'ont pas encore de canons très longs.

» Cet argument est sans aucune valeur pratique pour l'artillerie à tir rapide qui n'a jamais eu comme objectif de couler un cuirassé à distance et d'un seul coup de canon.

» D'autre part, le calcul montre (la chose n'était pas évidente *à priori*) que pour une même portée un projectile tiré avec des vitesses croissantes a des dérivations de plus en plus faibles.

» On doit donc admettre que la vitesse initiale est considérable et, par conséquent, l'écart en direction diminue; cela résulte d'une façon très nette des derniers travaux balistiques de Siacci et de Mayewski.

» Il n'y a donc aucune objection à formuler, sur ce point, contre les fortes vitesses initiales qui assurent à tous égards, et en dehors de toutes les considérations de zones dangereuses, une plus grande stabilité sur la trajectoire et une justesse de tir plus considérable. »

Ces données, un peu ardues, sont absolument nécessaires pour faire ressortir et cela d'une façon absolue, et quelque soit le système dont il s'agisse, l'importance prépondérante de la vitesse.

Elles expliquent que, dès le début, ceux qui ont senti ce que devait être l'artillerie à tir rapide se soient attachés à trouver la solution de ce problème. Les vitesses de 800 et de 1 000 *m* sont désormais un fait acquis, et c'est là un point capital.

La marine française a même, dans des essais faits avec une bouche à feu d'expérience de 16 *cm* rallongée à 90 calibres au moyen de tronçons rapportés, obtenu des vitesses de 1 100 *m* et même de 1 200 *m*.

Toutes ces considérations paraissent simples et évidentes;

mais, il y a trois ou quatre ans, on n'y attachait pas la même importance ; on ne croyait pas aux canons longs à la suite des mécomptes survenus en Angleterre, avec des bouches à feu n'ayant qu'une longueur moyenne. Il a fallu se rendre à l'évidence.

M. Canet a été le premier à s'engager et à persévérer dans cette voie, malgré les critiques dont il a été l'objet et qui ne lui ont certes pas été ménagées. Les premières expériences ont fait tomber les hésitations et on ne veut plus désormais que des canons longs.

Canons à tir rapide de côte.

Il a été fait une application intéressante du matériel à tir rapide, à la défense des côtes. Ce matériel peut rendre de grands services. Dans ce cas, la plate-forme de tir est fixe et n'est pas soumise aux oscillations du roulis, l'approvisionnement de la pièce est plus rapide, les évaluations de distance s'obtiennent avec plus de précision *(fig. 15, Pl. 121)*.

Le canon et l'affût sont identiques au matériel de bord, mais la sellette est fixée sur un socle plus ou moins élevé pour permettre de tirer au-dessus d'un parapet. Des appareils spéciaux servent pour la manœuvre des munitions.

V. — RAPIDITÉ DU TIR

Nous ne parlons de la rapidité du tir qu'en dernier lieu. Elle dépend, en effet :

Du mécanisme de manœuvre de la culasse ;

Du chargement simultané des trois éléments de la cartouche, projectile, charge, étoupille ;

De la nature de la poudre employée ;

Des dispositions générales de l'affût et du frein ;

De la tension de la trajectoire.

D'après ce qui précède, on voit que rien n'a été négligé dans le type de canon qui nous occupe, en vue d'accroître le plus possible cette rapidité.

Le matériel à tir rapide forme un tout complet, étudié dans ce but.

Les tirs de polygone ont donné, sans rectifier le pointage :

10 coups par minute pour le 12 *cm*.

12 coups par minute pour le 15 *cm*.

En visant sur but mobile, on atteint cinq à six coups. Dans le combat, c'est ce chiffre, et même un chiffre un peu inférieur, qu'il faut prendre comme moyenne. Cela dépend des facilités qu'a le pointeur pour suivre son but.

C'est déjà un résultat remarquable, quand on songe qu'avec les canons ordinaires, les affûts à châssis et les poudres brunes, on ne dépassait pas, il y a quatre ou cinq ans, une vitesse de un coup à un coup et demi par minute.

Usure des canons.

Mais, à propos de la rapidité du tir, il y a lieu de se demander si on ne s'expose pas à détériorer rapidement un matériel très perfectionné et très coûteux, et s'il n'en résultera pas la nécessité de renouveler souvent ce matériel ?

Cette question est intimement liée à l'étude de l'artillerie à tir rapide, et l'action des poudres à l'intérieur des canons donne lieu à des observations intéressantes pour l'artilleur et aussi pour l'ingénieur, au point de vue scientifique.

Un canon bien construit dépérit par usure, par mort lente en quelque sorte, plutôt que par mort violente. Non pas que sa résistance diminue. Dans un canon bien construit, la résistance reste toujours sensiblement la même, mais l'âme se détériore, augmente de diamètre, devient rugueuse et finit par rendre le tir extrêmement difficile (*fig. 16, Pl. 121*).

Ces détériorations se produisent à l'avant de la chambre où est logée la charge, au delà du cône de raccordement sur lequel vient s'appuyer la ceinture du projectile. Ce sont, au début, de petites stries longitudinales, qui forment bientôt un sillon, se rejoignent et finissent par déterminer des cavités et des affouillements. On a beaucoup discuté pour savoir quelle était la cause des érosions.

L'hypothèse d'une action chimique, due au soufre, a été écartée tout au moins comme agent principal, car la formation des sulfures de fer est impossible avec les nouvelles poudres qui ne contiennent que des matières organiques ; or, les érosions ont continué à se produire comme avec les poudres ternaires.

L'explication la plus logique et la mieux justifiée est celle qui consiste à attribuer ces effets à l'action mécanique et, en même temps, à l'action calorifique des gaz à très haute pression et à

très haute température, qui s'échappent avec une vitesse considérable par des orifices très étroits qui se trouvent entre la paroi du canon et la ceinture du projectile. C'est une sorte de burinage, de poinçonnage, analogue à l'action du jet de sable sur le verre.

L'action mécanique n'est pas seule en jeu, car les poudres à base de nitroglycérine qui développent une quantité de chaleur beaucoup plus considérable, donnent, à pression égale, sensiblement plus d'érosions que les autres. Les mécomptes survenus en Angleterre avec la Cordite en sont une preuve irréfutable.

Les poudres sans fumée françaises dérivées de la poudre Vieille ne donnent pas les mêmes inconvénients et ne détériorent pas l'âme des canons plus que les poudres prismatiques brunes.

Les poudres à la nitroglycérine abîment l'intérieur des douilles et déterminent une véritable fusion et rongent l'âme de la pièce.

C'est en grande partie pour cela que l'usage de ces poudres ne s'est pas généralisé jusqu'ici, malgré les propriétés balistiques très remarquables qu'elles possèdent. Actuellement même, on tend à les abandonner dans tous les pays.

Ces érosions se produisent quel que soit l'acier employé. Cependant l'acier Martin, forgé et fibreux, paraît mieux résister que l'acier au creuset dont la structure est cristalline.

En somme, les expériences faites en France avec des aciers de provenances diverses, n'ont pas montré qu'il y ait de très grandes différences entre les divers échantillons, et il n'est pas possible, pour un établissement métallurgique, de revendiquer à son profit le privilège de livrer un acier qui ne soit pas susceptible de se détériorer sous l'action des gaz de la poudre.

Certains canons tirés à de fortes pressions avec les poudres à la nitroglycérine ont été mis hors de service au bout de quelques coups seulement.

La question des poudres est donc intimement liée à celle du bon fonctionnement des douilles et de la conservation de la bouche à feu. Elle a un intérêt tout spécial pour l'artillerie à tir rapide, car un canon pourrait être mis hors de service au bout de quelques minutes. C'est à ce titre qu'il a paru nécessaire d'en dire quelques mots.

Un canon Canet de 10 *cm*, à tir rapide, a tiré déjà au polygone de la marine, à Gavre, près de cinq cents coups sans qu'il se soit manifesté la moindre détérioration dans l'âme.

Du reste, en France, nous avons des poudres qui ne nous donnent aucune inquiétude à cet égard.

Nous avons passé en revue divers perfectionnements apportés au matériel à tir rapide. Mais le mérite n'en revient pas uniquement à l'artilleur, le poudrier a eu sa large part, la part la plus large même, et on peut dire que l'admirable invention de M. Vieille a été le point de départ de l'artillerie à tir rapide.

En outre, les appareils enregistreurs et les appareils de mesure de toutes sortes ont permis de se rendre compte de phénomènes ignorés jusqu'à ces dernières années, de faire une étude scientifique et méthodique de la combustion des poudres et des efforts développés pendant le tir.

VI. — APPAREILS DE MESURE

Nous ne pouvons donc nous dispenser, en toute justice, de donner quelques indications sommaires sur ces appareils de mesure dont le rôle en artillerie a été si considérable.

Les pressions des gaz de la poudre dans l'âme, qui en service normal sont de 2 400 à 2 500 *atm* par centimètre carré, s'élèvent à certains coups à 3 000 *atm* et au-delà. Il importe donc d'être fixé au moins approximativement sur leur valeur.

Elles sont évaluées par l'écrasement, sous l'action des gaz, d'un petit cylindre de cuivre taré à l'avance, et dont la hauteur est observée à l'aide d'une vis micrométrique.

Les vitesses du projectile se mesurent au moyen du chronographe le Boulenger-Bréger. Le projectile traverse deux cadres placés à une distance déterminée, et détermine par son passage à travers un réseau de fils, deux ruptures successives de courant. On observe le temps que met le projectile pour franchir cette distance, et par conséquent sa vitesse, au moyen d'un dispositif basé sur le principe de la chute des corps.

Lorsque les artilleurs commencèrent à étudier méthodiquement les freins, il devint nécessaire de connaître à chaque instant la vitesse de recul du canon pour se rendre compte de la puissance vive dont est animée la masse en mouvement.

Cette vitesse de recul est donnée par le vélocimètre de M. le général Sébert, qui enregistre la longueur des vibrations d'un stylet sur un ruban métallique recouvert de noir de fumée et entraîné au moment du tir par la partie qui recule.

C'est de l'invention du vélocimètre que datent, en somme, tous les perfectionnements réalisés dans les freins.

M. le général Sébert a fait encore de nombreuses et intéressantes applications de ces principes aux projectiles enregistreurs

qui mesurent l'accélération de ces projectiles dans l'âme, et à beaucoup d'autrés instruments qui ont permis d'étudier des phénomènes ayant une durée de millièmes et de dix-millièmes de secondes.

Parmi les autres appareils, on peut citer le flectographe qui indique le soulèvement de l'affût.

Les balances manométriques donnent des indications suffisamment précises sur l'étendue du cône des gaz à la sortie de l'âme.

Les percussions sur le pont des navires peuvent se mesurer comme les pressions à l'aide de cylindres crushers placés sous la sellette.

L'outillage d'un polygone de tir comporte encore des baromètres, hygromètres, thermomètres, anémomètres, télémètres.

Enfin des appareils de grande précision; Palmers, Etoile mobile, Miroir, servant à mesurer les épaisseurs et les diamètres aux centièmes de millimètres et à observer l'intérieur de l'âme pour s'assurer qu'il n'y a pas eu de dégradation pendant le tir, etc.

Ce qui précède indique à quel point l'artillerie est une science spéciale, combien elle demande de soins particuliers, d'études méthodiques et d'observations méticuleuses.

C'est grâce à ces appareils de mesure dont les inventeurs l'ont dotée, que l'artillerie marche désormais d'un pas sûr.

Mais les expériences de laboratoire et la perfection des méthodes d'observation ne suffisent pas, il faut que l'ingénieur intervienne créant un matériel d'un fonctionnement assuré et utilisant pratiquement et avec sécurité les données scientifiques.

VII. — RÉSUMÉ

Il importe, au risque de nous répéter, de résumer en quelques mots les points principaux qui ont été traités au cours de ce travail; de préciser en quelque sorte les exigences en vue desquelles le matériel Canet, qui a fait plus spécialement l'objet de cette conférence, a été construit.

Ce sont, pour ainsi dire les desiderata de l'artillerie à tir rapide que nous passerons en revue.

Pour le canon, en dehors de la résistance et des garanties de bon fonctionnement, il fallait une construction simple. La grande longueur d'âme s'impose, mais il est nécessaire d'avoir un tracé qui donne toute sécurité contre les flexions ou les ruptures de volées.

Les considérations de rendement par kilogramme de métal c'est-à-dire le rapport de la puissance vive du projectile au poids du canon ou à celui de la charge, intéressantes pour une machine, n'ont, en artillerie, qu'une importance secondaire. Ce qu'il faut c'est un canon puissant, formant avec son affût un ensemble pouvant s'installer facilement à bord, dont le projectile soit animé d'une forte vitesse initiale et parcoure une trajectoire très tendue. On ne saurait actuellement s'en tenir aux vitesses moyennes, surtout depuis que les vitesses de 1 000 *m* ont été dépassées.

Pour la culasse : vis cylindrique parfaitement guidée à chaque instant, n'étant pas en porte à faux sur le volet ou la console, se manœuvrant par un seul mouvement de levier; appareils de sécurité contre la mise de feu prématurée, le dévirage, l'ouverture hâtive de la culasse en cas de long feu.

Extracteur agissant progressivement et ne projetant pas violemment la douille au dehors du canon.

Affût simple, robuste, peu encombrant, donnant le minimum d'efforts sur les ponts.

Freins hydrauliques donnant une pression constante; récupérateur permettant d'obtenir un retour en batterie suffisamment rapide, mais sans choc.

Équilibrage de l'affût autour des axes de rotation afin de pouvoir réduire les efforts de pointage.

Mécanisme de pointage distinct pour la manœuvre en hauteur et la manœuvre en direction. Ces mécanismes et les organes de mise de feu sont placés sous la main d'un pointeur isolé et indépendant, en dehors de la zône où s'effectuent les mouvements d'ouverture et de fermeture de la culasse.

Disposition générale de l'affût permettant au canon de reculer aisément toujours suivant son axe quelque soit l'angle de tir, la ligne de mire ne participant pas au mouvement de recul du canon, et le pointeur pouvant conserver constamment son œil sur cette ligne de mire.

Tels sont les principes qui ont guidé M. Canet et qui lui ont permis de construire un matériel qui a fait ses preuves et a donné à bord un bon service.

Aucun accident, aucun manque de résistance, n'a été signalé, soit aux épreuves de polygone, soit à bord. Ce n'est pas un matériel n'existant que sur le papier. Les nombreuses vues de canons et d'affûts jointes à ce travail l'indiquent suffisamment.

Dans le système Krupp, on a conservé le coin logé dans une

mortaise pratiquée dans la jaquette, disposition qui est considérée comme présentant des inconvénients au point de vue de la répartition des efforts pendant le tir. En outre, le coin est beaucoup moins maniable que la vis.

Les vitesses des canons allemands sont réduites. Elles ne dépassent guère 700 à 740 *m*. Ces canons ne sont pas assez puissants, étant donné les nécessités actuelles.

Le système Armstrong a donné quelques mécomptes au point de vue de la résistance, les accidents récents survenus au polygone de Silloth et à bord des navires de la flotte brésilienne en sont une preuve.

Les Anglais ont eu des difficultés à atteindre de fortes vitesses initiales. Ils ont dû modifier plusieurs fois les chambres, ce qui a conduit à changer le tracé des douilles et par conséquent, les approvisionnements de munitions. C'est un grave inconvénient quand on veut avoir dans une marine un type réglementaire bien défini.

La vis tronconique qu'employait Armstrong a été abandonnée par la marine française qui l'a expérimentée.

Les canons anglais ne sont pas assez longs pour retirer tout le bénéfice voulu des nouvelles poudres.

Les Anglais, comme les Allemands, ont une poudre à base de nitroglycérine (ces types peuvent, du reste, être fabriqués en France également), poudre très intéressante au point de vue balistique, mais qui n'est pas encore suffisamment connue au point de vue de la conservation, et qui donne, dans tous les cas, des érosions importantes.

C'est en Angleterre, que l'on a, pour la première fois, appliqué le tir rapide aux canons d'un calibre supérieur à 10 *cm*, mais en somme, c'est en France que l'on a vu le plus nettement dès l'origine, ce que devait être le canon à tir rapide, et à quelles exigences il devait satisfaire.

La France n'a rien à envier aux autres pays, sous ce rapport.

VIII. — CONCLUSION

Ce qui précède, fait ressortir, d'une façon assez nette, toutes les difficultés d'ordre technique qu'il a fallu vaincre pour arriver à un type satisfaisant de canon à tir rapide.

Nous dirons en finissant un mot des obstacles d'une autre na-

ture rencontrés par l'industrie du matériel de guerre, en général, pour arriver à son développement actuel.

Depuis longtemps déjà, l'industrie française s'occupe des armements, soit en fabriquant de l'acier à canon, des blindages, des projectiles, soit en construisant des navires. Quelques établissements avaient usiné pour la France, ou livré à des puissances étrangères des canons d'un modèle réglementaire, des canons de Bange, par exemple, pour le service de campagne, mais sans avoir de types spéciaux. Ce n'est que depuis la loi de 1885, qui permet la libre fabrication du matériel de guerre, fabrication non autorisée officiellement jusque là, que la construction des canons, des affûts et des tourelles a pris son essor, en tant qu'industrie.

Les « Forges et Chantiers de la Méditerranée » sous l'impulsion d'un homme qui a laissé une trace profonde partout où il a passé, M. Béhic, ont été le premier établissement se spécialisant d'une façon complète dans ces questions d'artillerie — j'entends la partie construction, et non la partie métallurgique — en créant un atelier approprié à ces travaux et un polygone d'essai, et en ayant un matériel, le matériel Canet, qui lui est propre. Ce système est, en quelque sorte, le type de l'artillerie construite actuellement en France (en dehors, bien entendu, du matériel réglementaire français dont nous n'avons pas à nous occuper ici), car il comprend, non pas quelques bouches à feu isolées, mais un ensemble complet d'artillerie ayant fait ses preuves et étant actuellement en service.

Il y a lieu également, de rendre hommage aux efforts faits dans cet ordre d'idées par nos puissantes usines métallurgiques, comme le Creusot, Saint-Chamond et également par l'usine Cail, en vue de l'étude du matériel à tir rapide de bord ou de campagne.

Grâce à tous ces efforts combinés, la France a, à l'heure actuelle, sa grande industrie de canons, les uns fournissant l'acier, les autres le mettant en œuvre, comme l'Allemagne à Krupp et l'Angleterre à Armstrong. Cette branche est venue compléter notre admirable industrie de blindages et de projectiles qui, actuellement occupe le premier rang.

Toutefois, malgré cette liberté donnée par la loi de 1885 et l'essor que cette législation a imprimé aux fabrications d'artillerie, les industriels français se sont trouvés dans une situation spéciale et souvent difficile.

Certaines formalités administratives limitent parfois leur liberté d'action.

Le monopole des poudres est entre les mains de l'État, qui ne peut naturellement se plier à toutes les exigences des industriels, comme le ferait une usine privée. Dans les autres pays, la fabrication des poudres est libre, mais sous le contrôle de l'État, bien entendu, ce qui semble à première vue, être le corollaire naturel de la libre fabrication des armes de guerre.

Les matières premières atteignent souvent un prix élevé.

En outre, les canons français avaient à lutter contre un véritable monopole, qui, de tout temps, avait été entre les mains des Anglais et des Allemands. Krupp et Armstrong disposaient donc d'une très grande force, car, en matière d'artillerie, quand il existe un type réglementaire dans un pays, il faut, pour le changer, des raisons d'ordre technique bien sérieuses sans parler des considérations budgétaires.

Il y avait là une position acquise, très forte, et un obstacle *à priori* à l'expansion de notre industrie au dehors.

Cette situation commence à se modifier, et les commandes, tout au moins en ce qui concerne l'artillerie de bord, tendent de plus en plus à venir en France.

Il est juste d'ajouter que nos usines, accoutumées au contrôle très sévère de l'artillerie française, et instruites, dans une certaine mesure, par l'expérience acquise en travaillant pour l'État, sont arrivées à une perfection d'usinage qu'on trouve difficilement ailleurs.

Mais une industrie de matériel de guerre, quelle que soit la perfection des types proposés, ne peut se développer et avoir des débouchés non seulement dans le pays, mais encore à l'étranger, qu'à condition d'être encouragée et soutenue par l'État. C'est ce qui se fait en Allemagne et en Angleterre. S'il en est autrement, les étrangers n'ont qu'une confiance limitée dans des engins qui n'ont pas été adoptés ou pris en considération dans le pays même.

Cette manière de voir n'est pas tout à fait exacte, du moins en ce qui concerne l'industrie française, parce qu'en France toutes les études et la fabrication du matériel de guerre réglementaire sont entre les mains de l'artillerie, soit de terre soit de mer, qui a des ateliers parfaitement outillés et pour certaines choses, surtout pour la construction, se suffit à elle-même sans faire appel à l'industrie.

D'autre part, on ne peut admettre que l'État soit obligatoirement le protecteur né de tout industriel jugeant à propos de

s'occuper de questions d'armement. Il faut évidemment donner des garanties sérieuses.

Mais il n'en est pas moins vrai que tout antagonisme entre l'État et l'industrie a des conséquences fâcheuses et pour l'un et pour l'autre. Il y a une juste mesure à garder.

Certaines questions ont été mal engagées et ont amené des malentendus regrettables. Sous prétexte de secret d'État on a cherché parfois, à éliminer l'industrie privée.

Quelques officiers à idées larges ont tout fait pour modifier cet état de choses. Ils ont senti le parti que l'on pouvait tirer des ressources de l'industrie qui, en somme, livre toutes les matières premières, les blindages, les projectiles, etc. A part certains travaux d'assemblage et de construction que l'État se réserve, elle a la grosse besogne.

Ils ont senti qu'il y avait là une force considérable qu'il fallait savoir guider et utiliser à propos. L'industrie leur doit beaucoup et elle s'efforce, du reste, de le leur prouver en marchant avec eux la main dans la main et en se mettant en toute circonstance à leur disposition pour étudier les problèmes qu'ils lui posent.

Le patriotisme éclairé consiste à favoriser le développement de l'industrie du matériel de guerre.

Au point de vue économique, cette industrie fait vivre des milliers d'ouvriers, en France, avec l'argent venant de l'étranger, argent qui, sans cela, irait certainement en Angleterre ou en Allemagne. Ces commandes se répartissent entre toutes les branches : charbon, tôles de navires, blindages, machines, cordages, voilures, ameublements, instruments de précision, projectiles, douilles, appareils électriques, etc., etc. Il y a là une source considérable de richesse et une occasion toujours nouvelle de perfectionner les types et d'augmenter la puissance de production.

L'État, en somme, bénéficie directement de la prospérité de l'industrie des armes de guerre, au point de vue financier et au point de vue du développement de l'outillage et des moyens d'action dont il peut disposer à un moment donné.

Le prestige national s'accroît par le fait de cette exportation, car un État qui construit de bons canons et arme l'étranger est considéré comme fortement armé lui-même et ayant à cet égard une supériorité reconnue. C'est à lui que l'on s'adresse pour les armements et son influence dans certains pays s'augmente par le fait même. J'ajoute que c'est une grande illusion de croire qu'en

cas de refus de notre part certaines nations ne pourraient pas s'armer.

Les Anglais et les Allemands, envisageant la question à un point de vue plus général et plus pratique, assimilent, ce qui est en partie exact, du moins quand il s'agit de pays armés et civilisés, le matériel de guerre à un produit industriel quelconque : le charbon, par exemple, est aussi nécessaire que les armes pour faire une guerre maritime.

Ils favorisent de tout leur pouvoir, même en agissant directement par voie diplomatique, le développement de cette industrie et l'exportation du matériel de guerre, car ils se rendent bien compte qu'au fond le pays finit toujours par en bénéficier sous une forme ou sous une autre.

Il existe, cela n'est pas douteux, un courant qui porte toutes les puissances à s'armer; il est de l'intérêt de chaque grande nation de canaliser dans une mesure raisonnable ce courant à son profit.

Il importe dans cette matière si délicate de bien remettre les idées au point, car elles ont été absolument faussées.

Cette question pourrait faire à la Société des Ingénieurs civils, qui est une tribune indépendante, ouverte à toutes les libres discussions, l'objet d'une nouvelle communication plus détaillée et permettant d'élargir le débat.

Nous n'avons voulu, à cet égard, que donner quelques indications.

Je ne dirai plus qu'un mot.

Plusieurs d'entre vous, Messieurs, ont encore le souvenir de la campagne faite à la fin de l'année dernière, en Angleterre, dans le but d'obtenir de nouveaux crédits pour l'accroissement de la flotte.

Il y eut, comme dans la campagne faite par la presse française, à côté de quelques critiques justes, de très grandes exagérations. C'est une question qu'il ne nous appartient pas de reprendre ici.

Mais des discussions qui se sont engagées chez nos voisins nous ne retiendrons qu'une chose, sans nous faire d'illusions d'ailleurs sur la portée des éloges intéressés décernés au matériel lui-même; c'est, à notre point de vue particulier, l'hommage rendu à la construction française et à l'esprit scientifique des Ingénieurs français, par deux hommes particulièrement compétents en matière de construction navale et d'armement.

Sir Charles Dilke disait dans le *Daily Graphic* du 29 novembre dernier.

« La Marine française est incontestablement supérieure à la nôtre, au point de vue de ses canons et de l'emploi de projectiles à explosifs puissants. En outre, les Français construisent mieux que nous les navires de guerre. C'est là un fait qui surprend si l'on considère notre supériorité comme constructeurs de bateaux de commerce, mais il ne paraît pas y avoir sur ce point même l'ombre d'un doute. La preuve en est que presque toutes les commandes importantes faites par les puissances neutres sont confiées à la France. La Seyne et la Ciotat construisent les meilleurs navires existants, et cela en dépit de presque tous les désavantages naturels. Ces villes n'ont ni charbon, ni bois, ni main-d'œuvre économique; tout doit être importé, même la main-d'œuvre.

» Ce n'est que grâce au talent dont font preuve les Français dans l'étude et l'exécution des projets que les puissances neutres envoient leurs commandes aux établissements de la Méditerranée au lieu de les confier aux chantiers de la Tyne. »

Sir E. Reed, à son tour, ajoutait dans une interview avec le même journal, sous le titre : *France the leader in naval science.*

« L'esprit scientifique des Français ne s'est jamais révélé d'une façon aussi brillante, au point de vue de ses applications aux sciences navales, que dans ces dernières années. Nous pouvons être sûrs que les avantages offerts à la Marine française par les perfectionnements apportés aux navires de guerre et à leur armement sont parfaitement bien compris et appréciés en France, et je suis convaincu, après ce que j'ai vu, que, dans l'avenir, la Marine française montrera autant d'habileté et d'élan au combat que de science dans les travaux techniques. »

Ainsi, de l'aveu même des Anglais, l'esprit de méthode des Ingénieurs français a triomphé des difficultés de toutes sortes qu'ils ont rencontrées sur leur route. L'industrie privée, si critiquée parfois, n'a-t-elle pas le droit de revendiquer sa part de ces éloges? C'est de la liberté donnée à l'industrie privée, de la collaboration de tous les jours entre les corps officiels et cette même industrie qu'est né l'état de choses actuel dans lequel chacun apporte, les industriels comme les autres, sa pierre pour l'édifice commun, et contribue pour une part plus ou moins grande à la prospérité intérieure, à l'indépendance au point de vue des armements et à la puissance militaire du pays.

ANNEXE I

Description du mécanisme de culasse pour canons Canet à tir rapide

La fermeture de culasse des canons à tir rapide Canet est réalisée au moyen d'une vis à filets interrompus manœuvrée par un levier horizontal *(fig. 3, Pl. 120)*.

Ce mode de fermeture est caractérisé par les points suivants *(fig. 7 à 11, Pl. 119)* :

I. — Les organes de la fermeture sont combinés de telle sorte qu'en agissant sur le levier de manœuvre dans un seul et même sens on obtient successivement les trois effets suivants :

1° Rotation de la vis-culasse dans son écrou.

2° Dégagement de la vis.

3° Rotation de la vis et de son support autour de la charnière de ce support.

Ces trois mouvements se reproduisent en ordre inverse lorsqu'on agit sur le levier de manœuvre dans un sens contraire à celui de l'ouverture.

II. — Les douilles sont arrachées au moyen d'un extracteur à griffe logé dans la paroi de la vis.

Cet extracteur présente sur certains systèmes actuellement employés les avantages suivants :

1° Il occupe une place très restreinte dans le mécanisme de fermeture et n'en diminue par suite aucunement la résistance.

2° Sa puissance et sa durée d'action sont calculées de manière à extraire les douilles progressivement sans aucune violence. On évite ainsi les projections de douilles qui peuvent détériorer ces douilles elles-mêmes ou blesser les servants qui se tiennent derrière la pièce.

3° Sa puissance est suffisante pour extraire les douilles même légèrement gonflées sans toutefois exercer sur la partie bourrelet qui est en prise un effort exagéré pouvant compromettre la résistance.

Au cas où la limite de cet effort serait atteinte par suite d'un gonflement inusité d'une douille trop souvent réfectionnée, un dispositif spécial permet de faire cette extraction.

III. — Les organes de la mise de feu sont munis d'appareils de sécurité qui empêchent le départ du coup lorsque la culasse n'est pas complètement fermée.

Description.

Le système de fermeture de culasse à tir rapide Canet comprend :

1° La vis de culasse avec son extracteur,
2° Le volet console,
3° Les pièces de l'appareil de manœuvre,
4° L'appareil de mise de feu avec ses deux dispositions permettant à volonté l'emploi d'étoupilles obturatrices à percussion ou d'étoupilles obturatrices électriques.

Vis de culasse. — La vis de culasse proprement dite est une pièce cylindrique en acier forgé percée suivant son axe d'un canal dans lequel est logé l'appareil de mise de feu. — La surface extérieure est découpée en huit secteurs, dont quatre lisses et quatre filetés correspondant avec des secteurs analogues pratiqués dans la partie arrière du tube de la bouche à feu et formant écrou de culasse.

Dans l'un des secteurs vides est ménagé le logement de l'extracteur. Cet extracteur est un levier articulé autour d'un axe. Il est terminé d'un côté par une griffe pouvant saisir le culot de la douille et de l'autre par une queue agissant sur un ressort. Grâce à ce dispositif, lorsque dans la période de fermeture, la vis culasse, arrive en contact avec le culot de la douille qui a été introduite dans la chambre, l'extracteur pivote autour de son axe et son extrémité, terminée en griffe, franchit le bourrelet du culot avec lequel elle doit entrer en prise et revient en place sous l'action du ressort.

La face arrière de la vis culasse est évidée de manière à recevoir une bague conique munie d'une denture sur laquelle viennent agir les organes du mouvement de l'appareil de manœuvre.

Volet Console. — Le volet console est en acier forgé. Il se compose d'un anneau logé dans un évidement de la tranche arrière du canon et d'une console de forme spéciale perpendiculaire à la tranche arrière de la culasse.

Cette console sert de support et de chemin de glissement à la vis culasse et aux organes de l'appareil de manœuvre.

Le volet est alternativement relié au corps du canon et à la vis culasse par un verrou à faces inclinées. Un tenon fixé sur le canon et taillé en biseau vient agir sur le verrou au moment de la fermeture et rend le volet solidaire du corps du canon.

Appareil de manœuvre. — Les diverses pièces que comporte cet appareil sont :

1° Un levier à deux branches : la plus grande est terminée par une poignée à ressort qui permet d'agir sur un levier dont l'extrémité opposée est, au repos, engagée dans un crochet monté sur la tranche de culasse (ce dernier dispositif ne figure pas sur le dessin); la plus petite est terminée par un galet pouvant se déplacer dans une rainure appropriée de la console.

2° Un axe vertical dont la tête est élargie en forme de secteur denté engrenant avec la denture qui porte la vis culasse et dont la base est solidement fixée dans le levier de manœuvre au moyen d'une clavette ou maintenue par un écrou.

Cet axe porte une came qui, dans la période d'ouverture, prend appui sur un grain de décollage fixé dans la console.

3° Un tube creux portant le nom d'axe d'entrainement qui est vissé dans le corps de la vis culasse.

4° Le support de l'axe d'entrainement qui sert de coussinet à l'axe vertical et de manchon à l'axe d'entrainement. Ce support repose sur la console au moyen de glissières.

5° Un bouchon fixé à l'arrière de l'axe d'entrainement par un emmanchement à baïonnette.

Le fonctionnement de ces pièces est le suivant :

Lorsque l'on appuie verticalement sur la poignée du levier de manœuvre, le levier d'enclenchement se dégage du crochet fixé sur la tranche arrière du canon; il suffit alors, pour ouvrir la culasse, de tirer en arrière d'un mouvement continu le levier de manœuvre.

Dans la première partie de ce mouvement, il se produit autour de l'axe vertical une rotation dont l'effet est de faire tourner la vis culasse dans son logement de manière à dégager les filets en prise.

Cette rotation est limitée par une butée ménagée sur la tranche arrière de la culasse.

A ce moment le galet monté à l'extrémité du petit bras du levier de manœuvre a commencé à s'engager dans la deuxième partie

Arbre vertical de commande M.

Clavette de fixation *c* de l'arbre dans le levier avec boulon de serrage *d*.

Secteur denté N avec sa goupille *e* et sa clavette *f*.

Support de l'axe d'entraînement en deux parties O.O'.

Percuteur P avec son ressort Q sa bague R et la clavette de cette bague S.

Détente T avec son ressort *g*.

Gâchette U.

Axe de la gâchette I.

Bonhomme de sûreté V avec son ressort *h*.

Extracteur à griffe X.

Axe de la griffe Y.

Ressort de l'extracteur avec son chapeau Z

ANNEXE II

Description du frein hydraulique

A CONTRE-TIGE CENTRALE SYSTÈME CANET, AVEC RÉCUPÉRATEUR A RESSORT POUR LA RENTRÉE AUTOMATIQUE EN BATTERIE.

La description qui suit peut être considérée comme se rapportant au matériel type.

Le frein hydraulique, système Canet, se compose *(fig. 12 et 13, Pl. 119)*:

1° D'un cylindre de frein B venu de fonte avec un manchon A qui entoure le canon.

2° D'un piston dont la tige C est fixée dans une crosse D venue de forge avec le canon.

3° D'une soupape K reposant sur le dos du piston grâce à la pression de ressorts L appuyant sur une butée M.

4° D'une tige H à profil variable pénétrant dans un orifice central qui est pratiqué dans le piston.

Le récupérateur à ressorts se compose :

1° D'un piston plongeur E entourant la tige de piston.

2° D'une traverse F.

3° De deux colonnes de ressorts G chargeant cette traverse.

Le fonctionnement de ce frein à récupérateur est le suivant :

Au moment du tir, le canon recule dans le manchon A entraînant avec lui la crosse D et par suite le piston C. Le liquide contenu dans le cylindre de frein est alors refoulé de l'arrière à l'avant du piston. Il passe par l'orifice annulaire compris entre les bords du trou central ménagé dans le piston et la tige H.

Le profil variable de cette tige permet de régler à chaque instant la section de cet orifice annulaire et par suite les pressions qui se développent dans le frein.

La précision de ce mode de réglage est telle que l'on obtient, pendant toute la durée du recul, une pression sensiblement constante dans le cylindre et un effort constant sur les pièces de l'affût.

Le liquide qui a franchi l'orifice central du piston passe au travers des orifices ménagés dans ce piston et soulève la soupape K. Mais l'introduction de la tige de piston C dans le cylindre B a pour effet de déterminer un déplacement vers l'avant du piston annulaire B qui porte la traverse F, ce qui produit un accroissement de tension des ressorts chargeant cette traverse. C'est la détente de ces ressorts qui détermine la rentrée en batterie du canon en refoulant de nouveau le liquide à la fin du recul de l'avant à l'arrière du piston.

Pour régler la rapidité de ce mouvement de rentrée en batterie, des orifices de dimensions convenables sont ménagés dans la soupape K qui s'est refermée à la fin du recul.

A la fin de la rentrée en batterie, la crosse D de la tige de piston vient buter sur un tampon élastique qui limite le déplacement vers l'avant du système mobile, on évite ainsi les chocs trop violents. *(Voir fig. de 27 à 34, Pl. 119, les courbes obtenues avec divers freins.)*

ANNEXE III

Forges et Chantiers de la Méditerranée. — Canons Canet, à tir rapide, modèle 1894.

Données balistiques.

	CALIBRES									
	57 MILLIMÈTRES		65 MILLIMÈTRES		10 CENTIMÈTRES		12 CENTIMÈTRES		15 CENTIMÈTRES	
	Longueur 60 calibres	Longueur 70 calibres	Longueur 50 calibres	Longueur 60 calibres	Longueur 45 calibres	Longueur 50 calibres	Longueur 45 calibres	Longueur 50 calibres	Longueur 45 calibres	Longueur 50 calibres
Longueur totale du canon *mm*	3 420	3 990	3 250	3 900	4 500	5 000	5 400	6 000	6 750	7 500
Poids du canon . . . . *kg*.	600	700	650	750	1 800	1 950	2 800	3 200	5 800	6 300
Poids de l'obus de rupture *kg*.	2,7	2,7	4	4	13	13	21	21	40	40
Poids approximatif de la charge de poudre sans fumée. . . . . *kg*.	1,0	1,1	1,2	1,5	3,5	3,5	5,8	5,8	9	9
Poids approximatif de la cartouche complète (obus serti) . . . . *kg*.	5,2	5,6	7	7,5	22	22	35	35	65	65
Vitesse initiale à la bouche *m*.	860	900	780	850	760	800	760	800	760	800
Vitesses restantes en mètres à . . . . . 500.	721	753	666	731	678	712	688	724	702	739
1 000.	604	630	569	627	604	635	625	656	649	683
1 500.	505	528	486	540	539	566	567	595	600	632
2 000.	423	442	415	464	480	506	513	540	555	583

Puissance vive totale en mètres-tonnes à	à la bouche	101,8	111,5	124,0	147,3	382,7	424,1	618,2	685,0	1 177,6	1 304,8
	500.	71,5	78,0	90,4	108,9	304,3	335,9	506,6	561,0	1 004,7	1 113,4
	1 000.	49,1	54,6	66,0	80,1	241,7	267,2	418,1	460,6	858,7	951,0
	1 500.	35,1	38,4	48,2	59,4	192,5	212,3	341,1	378,9	733,9	814,3
	2 000.	24,6	26,8	35,1	43,9	152,6	169,0	281,2	312,1	627,9	692,6
	2 500.	17,7	19,5	26,3	32,6	121,9	134,1	232,4	255,9	536,5	594,5
Épaisseur en centimètres de la plaque de fer forgé traversée normalement à	à la bouche	23,2	24,4	22,5	25,4	32,3	35,4	38,6	41,6	48,9	52,9
	500.	17,7	18,5	17,7	20,2	27,1	29,6	33,1	35,8	43,3	46,8
	1 000.	13,3	14,1	13,9	15,9	22,7	24,9	28,6	30,8	38,3	41,4
	1 500.	10,2	10,8	10,9	12,6	19,0	20,8	24,6	26,5	34,0	36,8
	2 000.	7,8	8,2	8,5	10,0	15,9	17,5	21,0	22,8	30,1	32,5
	2 500.	6,1	6,3	6,8	8,0	13,4	14,6	18,2	19,6	26,7	29,5
Flèche maximum de la trajectoire pour les portées de	500.	2,01	1,50	1,31	1,10	1,53	1,25	1,15	1,11	1,02	0,98
	1 000.	6,11	5,14	4,0	3,11	4,87	4,33	4,12	3,90	3,55	3,48
	1 500.	10,77	9,26	8,8	7,05	8,14	7,73	7,38	7,02	6,53	6,33
	2 000.	18,17	16,15	15,7	12,71	14,57	13,49	13,13	12,50	11,95	11,52
	2 500.	27,76	25,23	28,0	22,26	22,47	21,12	20,97	19,96	18,58	17,82
Portées en mètres angles de	3° . .	3 025	3 320	2 810	3 125	3 380	3 605	3 520	3 835	3 935	4 145
	5° . .	3 795	4 260	4 030	4 335	4 525	4 780	4 725	5 140	5 240	5 685
	7° . .	4 410	4 985	4 860	5 285	5 370	5 705	5 755	6 105	6 285	6 465
	10° . .	5 345	5 840	5 880	6 265	6 470	6 765	6 950	7 280	7 605	8 150
	15° . .	6 390	6 960	7 100	7 510	7 865	8 165	8 430	8 845	9 225	9 895
	20° . .	7 135	7 810	8 070	8 580	8 930	9 225	9 495	9 985	10 520	11 225
	25° . .	7 735	8 545	8 760	9 290	9 770	10 055	10 375	10 975	11 350	12 220
	30° . .	8 280	9 065	9 310	9 850	10 415	10 665	11 065	11 560	12 140	12 960
	35° . .	8 785	9 475	9 690	10 245	10 950	11 150	11 695	12 090	12 995	13 505

ANNEXE III

Forges et Chantiers de la Méditerranée. — Canons Canet, à tir rapide, modèle 1894.

Données balistiques.

	CALIBRES									
	57 MILLIMÈTRES		65 MILLIMÈTRES		10 CENTIMÈTRES		12 CENTIMÈTRES		15 CENTIMÈTRES	
	Longueur 60 calibres	Longueur 70 calibres	Longueur 50 calibres	Longueur 60 calibres	Longueur 45 calibres	Longueur 50 calibres	Longueur 45 calibres	Longueur 50 calibres	Longueur 45 calibres	Longueur 50 calibres
Longueur totale du canon *mm*	3 420	3 990	3 250	3 900	4 500	5 000	5 400	6 000	6 750	7 500
Poids du canon . . . . . *kg*.	600	700	650	750	1 800	1 950	2 800	3 200	5 800	6 300
Poids de l'obus de rupture *kg*.	2,7	2,7	4	4	13	13	21	21	40	40
Poids approximatif de la charge de poudre sans fumée. . . . . *kg*.	1,0	1,1	1,2	1,5	3,5	3,5	5,8	5,8	9	9
Poids approximatif de la cartouche complète (obus serti) . . . . *kg*.	5,2	5,6	7	7,5	22	22	35	35	65	65
Vitesse initiale à la bouche *m*.	860	900	780	850	760	800	760	800	760	800
Vitesses restantes en mètres à . . . . . 500.	721	753	666	731	678	712	688	724	702	739
1 000.	604	630	569	627	604	635	625	656	649	683
1 500.	505	528	486	540	539	566	567	595	600	632
2 000.	423	442	415	464	480	505	513	540	555	583

Puissance vive totale en mètres-tonnes à	à la bouche	101,6	[illegible]	124,0	147,3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	500.	71,5	78,0	90,4	108,9	304,3	335,0	506,6	561,0	1 004,7	1 119,1
	1 000.	49,1	54,6	66,0	80,1	241,7	267,2	418,1	460,6	858,7	951,0
	1 500.	35,1	38,4	48,2	59,4	192,5	212,3	341,1	378,9	733,9	814,3
	2 000.	24,6	26,8	35,1	43,9	152,6	169,0	281,2	312,1	627,9	692,6
	2 500.	17,7	19,5	26,3	32,6	121,9	134,1	232,4	255,9	536,5	594,5
Épaisseur en centimètres de la plaque de fer forgé traversée normalement à	à la bouche	23,2	24,4	22,5	25,4	32,3	35,4	38,6	41,6	48,9	52,9
	500.	17,7	18,5	17,7	20,2	27,1	29,6	33,1	35,8	43,3	46,8
	1 000.	13,3	14,1	13,9	15,9	22,7	24,9	28,6	30,8	38,3	41,4
	1 500.	10,2	10,8	10,9	12,6	19,0	20,8	24,6	26,5	34,0	36,8
	2 000.	7,8	8,2	8,5	10,0	15,9	17,5	21,0	22,8	30,1	32,5
	2 500.	6,1	6,3	6,8	8,0	13,4	14,6	18,2	19,6	26,7	29,5
Flèche maximum de la trajectoire pour les portées de	500.	2,01	1,50	1,31	1,10	1,53	1,25	1,15	1,11	1,02	0,98
	1 000.	6,14	5,14	4,0	3,11	4,87	4,33	4,12	3,90	3,55	3,48
	1 500.	10,77	9,26	8,8	7,05	8,14	7,73	7,38	7,02	6,53	6,33
	2 000.	18,17	16,15	15,7	12,71	14,57	13,49	13,13	12,50	11,95	11,52
	2 500.	27,76	25,23	28,0	22,26	22,47	21,12	20,97	19,96	18,58	17,82
Portées en mètres angles de	3° . .	3 025	3 320	2 810	3 125	3 380	3 605	3 520	3 835	3 935	4 145
	5° . .	3 795	4 260	4 030	4 335	4 525	4 780	4 725	5 140	5 210	5 685
	7° . .	4 410	4 985	4 860	5 285	5 370	5 705	5 755	6 105	6 285	6 465
	10° . .	5 345	5 840	5 880	6 265	6 470	6 765	6 950	7 280	7 605	8 150
	15° . .	6 390	6 960	7 100	7 510	7 865	8 165	8 430	8 845	9 225	9 895
	20° . .	7 135	7 840	8 070	8 580	8 930	9 225	9 495	9 985	10 520	11 225
	25° . .	7 735	8 545	8 760	9 290	9 770	10 055	10 375	10 975	11 350	12 220
	30° . .	8 280	9 065	9 310	9 850	10 415	10 665	11 065	11 560	12 140	12 960
	35° . .	8 785	9 475	9 690	10 245	10 950	11 150	11 695	12 090	12 995	13 505

ANNEXE IV

Expériences de tir faites avec un canon Canet de 32 centimètres de 40 calibres de janvier à octobre 1891

POIDS DU PROJECTILE	NATURE DE LA POUDRE	POIDS DE LA CHARGE	VITESSE INITIALE	PRESSION	PERFORATION EN CENTIMÈTRES de fer forgé

Canon n° 1.

kg		kg	m	kg	
455	PB_1S	224,200	655	2 292	102,4
447	»	240,000	679	2 575	108,3
451,5	BN	135	701,7	2 392	113,9
448,5	»	138	696,7	2 140	112,7
469	PB_1S	245	689,6	2 439	114,7
448,5	»	255	703,6	2 669	114,5
450,5	»	240,300	676	2 389	107,5

Le canon et l'affût ont supporté, sans aucune fatigue, ces tirs.

La culasse est ouverte par un seul homme.

Canon n° 3.

450	PB_1S	240	689,9	2 517	
451	»	240	690	2 515	
450	»	240	690,7	2 384	
451,5	»	240	690,1	2 553	
451,5	»	240	692,2	2 740	
451	»	255	717,6	2 866	
451	BN	135	670,2	2 089	
450	»	140	700,7	2 421	
450,5	»	144	727,4	2 553	

Canon n° 2.

451,5	PB_1S	240	686	2 845	
449,5	—	240	689	2 749	
451,5	—	255	715	2 813	

Résumé des expériences faites avec un canon Canet à tir rapide de 15 centimètres de 48 calibres.

DATE DES TIRS	POIDS du PROJECTILE	POIDS de LA CHARGE	NATURE de LA POUDRE	VITESSE INITIALE	PRESSION MOYENNE	OBSERVATIONS
	kg	kg		m	kg	
27 mars 1890. .	40,315	8	BN	508	650	
— . .	40,305	10	—	597	990	
— . .	40,180	12	—	702	1 770	
28 mars 1890. . .	40,560	13	—	739	2 165	
— . .	40,335	14	—	793	2 645	Tir de résistance.
— . .	40,250	15	—	837	2 910	—
19 mai 1890. . .	40,390	14 500	—	846	2 880	—
— . . .	40,155	15,000	—	878	3 280	—
12 décembre 1891	40,000	8	BNG	765	2 340	
— . .	40,000	8,5	—	823	2 747	Tir de résistance.
— . .	40,000	9	—	843	2 717	—
— . .	40,000	9,5	—	870	3 080	—

Résumé des expériences faites avec les canons Canet de 15 centimètres de 45 calibres, à tir rapide

MODÈLE 1889

DATE DES TIRS	POIDS du PROJECTILE	POIDS de LA CHARGE	NATURE de LA POUDRE	VITESSE INITIALE	PRESSION MOYENNE	OBSERVATIONS
	kg	kg		m	kg	
19 février 1891. .	39,550	8	BN — n	578	923	
— . .	39,850	9	—	625	1 410	
— . .	40,100	10	—	686	1 990	
4 avril 1891. . .	40,450	10,5	—	716	2 210	
24 mars 1891 . .	40,380	11	—	748	2 680	
24 février 1891. .	40,525	11,5	—	770	2 930	
3 août 1891 . . .	40,000	8,3	BN — n_2	—	—	Salve de 4 coups durée 24 secondes.
17 juin 1891. . .	40,365	7	BN — p	583	1 410	
— . . .	40,345	8	—	641	1 890	
— . . .	40,445	9	—	704	2 520	
23 juin 1891. . .	40,000	9,5	—	727	2 605	
— . . .	40,420	9,75	—	742	2 995	
9 juillet 1891 . .	40,000	9,75	—	Salve de 10 coups en 65 secondes sans pointer.		
— . . .	40,000	9,75	—	Salve de 10 coups en 92 secondes en pointant sur but fixe.		
— . . .	40,000	9,75	—	Salve de 5 coups en 69 secondes en pointant sur but mobile		
— . . .	40,000	9,75	—	Salve de 5 coups en 51 secondes en pointant sur but mobile.		
3 août 1891 . . .	40,120	6,5	BNG — v	657	1 500	
— . . .	39,780	7,5	•	748	2 112	

Résumé des expériences de tir faites avec les canons Canet à tir rapide de 10 centimètres de 48 calibres.

MODÈLE 1888

DATE DES TIRS	POIDS du PROJECTILE	POIDS de LA CHARGE	NATURE de LA POUDRE	VITESSE INITIALE	PRESSION MOYENNE	OBSERVATIONS
	kg	kg		m	kg	
4 décembre 1889.	13,040	2,4	BN — a 1er lot	559	995	
—	13,100	2,8	—	610	1 340	
—	12,950	3,2	—	682	1 710	
18 décembre 1889	13,050	3,5	—	739	2 245	
—	13,100	3,8	—	779	2 650	Tir de résistance.
—	13,120	3,9	—	797	2 830	—
12 septembre 1890	13,100	1,5	BNG — β	510	710	
—	13,070	1,75	—	565	815	
—	13,100	2	—	621	990	
—	13,100	2,25	—	671	1 440	
—	13,060	2,50	—	723	1 880	
—	13,060	2,75	—	754	2 135	
—	13,100	1,50	BNG — α	540	920	
—	13,070	1,75	—	614	1 220	
—	13,200	2	—	662	1 675	
—	13,100	2,25	—	714	1 970	
—	13,150	2,50	—	760	2 205	
—	13,100	2,75	—	804	2 590	
—	13,070	2,75	—	804	2 610	
23 octobre 1890.	13,110	2	BNG — λ	663	1 675	
—	13,070	2,25	—	683	2 065	
—	13,100	3	—	843	2 660	Tir de résistance.
—	13,150	3	—	842	2 680	—

Résumé des expériences faites avec les canons Canet de 12 centimètres de 45 calibres, à tir rapide.

MODÈLE 1889

DATE DES TIRS	POIDS du PROJECTILE	POIDS de LA CHARGE	NATURE de LA POUDRE	VITESSE INITIALE	PRESSION MOYENNE	OBSERVATIONS
	kg	*kg*		*m*	*kg*	
14 janvier 1891.	21,280	3,75	BN-*b*-89	596	1 155	
—	21,265	4,5	—	663	1 555	
—	21,300	5	—	708	2 245	
—	21,350	5,5	—	749	2 435	
—	21,305	5,75	—	774	2 575	
—	21,300	6	—	795	2 960	
24 février 1891.	21,430	4	BN — *p*	602	1 455	
—	21,380	4,5	—	661	1 890	
—	21,275	5	—	710	2 185	
—	21,285	5,5	—	758	2 630	Tir de résistance.
9 juillet 1891. .	21,000	5,5	BN — p_1	Salve de 9 coups, durée 53 secondes sans pointer.		
— . .	21,000	5,5	—	Salve de 11 coups, durée 108 secondes en pointant sur but fixe.		
— . .	21,000	5,5	—	Salve de 5 coups, durée 76 secondes sur but mobile.		
— . .	21,000	5,5	—	Salve de 5 coups, durée 73 secondes sur but mobile.		
— . .	21,000	5,5	—	Salve de 5 coups, durée 37 secondes sur but mobile.		
23 juin 1891. . .	20,950	5,75	BN — p_1	759	2 690	Tir de résistance.
— . . .	21,000	6	—	803	3 035	—
15 décembre 1891	20,800	4,75	BN — *r*	656	1 745	
—	21,200	5,25	—	712	2 060	
—	20,845	5,75	—	758	2 440	
—	20,770	6,25	—	801	2 985	Tir de résistance.
31 juillet 1891. .	21,100	3,5	BNG — β	666	1 560	
3 août 1891. . .	20,910	4	—	740	1 885	
— . . .	21,150	4,5	—	800	2,315	

Expériences de tirs faites avec un canon Canet de 10 centimètres de 80 calibres, à tir rapide et les poudres sans fumée françaises.

DATE DES TIRS	POIDS DU PROJECTILE	POIDS DE LA CHARGE	NATURE DE LA POUDRE	VITESSE INITIALE	PRESSION MOYENNE
	kg	kg		m	kg
20 septembre 1892	13	4,8	Poudre sans fumée	911	2 117
—	12,9	4,9	Type I	930	2 259
—	13	5,0	—	933	2 276
—	13,8	5,1	—	950	2 372
—	12,8	5,3	—	979	2 512
—	13	5,5	—	1 008	2 789
—	13	5,6	—	1 026	2 979
—	13	5,15	—	980	2 516

Expériences de tir faites au polygone du Hoc, en mai et juin 1892, avec un canon Canet de 57 millimètres de 80 calibres, à tir rapide

MODÈLE 1891

POIDS DU PROJECTILE	NATURE DE LA POUDRE	POIDS DE LA CHARGE	VITESSE INITIAL	PRESSION
kg		kg	m	kg
2,700	BNG	1,000	780	1 438
2,700	—	1,200	906	2 024
2,700	—	1,300	958	2 267
2,690	—	1,350	972	2 296
2,700	—	1,350	998	2 541
2,700	—	1,400	1 001	2 570
2,700	—	1,400	1 013	2 683
3,000	—	1,300	952	2 508
3,000	—	1,400	1 005	3 093
3,000	—	1,400	980	2 690
3,000	—	1,400	995	2 736

ANNEXE V

Essais de canons de 57 *mm* et de 10 *cm* — 80 calibres — à tir rapide.

Des tirs de justesse et de rapidité ont été faits avec un canon Canet de 57 *mm* — 80 calibres — sur un but en mer placé à 520 *m* de la bouche de la pièce *(fig. 4 à 7, Pl. 120)*.

Le but était composé de trois tonneaux reliés ensemble et d'un drapeau de 1 *m* × 1,20 *m* planté dans le tonneau du milieu.

Au quatrième coup le tir était réglé; dans une salve de sept coups, tirés en 50 secondes, le drapeau de la cible est percé aux cinq premiers coups; au sixième coup la hampe du drapeau est coupée par le projectile. Les trois tonneaux ont été coulés. Avec un canon Canet de 10 *cm* — 80 calibres — à tir rapide, on a tiré dans la même séance une salve de quatre coups en 29 secondes, le pointage étant rectifié à chaque coup. Les empreintes marquées sur une cible située à 150 *m* de la bouche de la pièce sont représentées ci-contre *(fig. 16, Pl. 119)*.

Ces tirs avaient lieu le 26 avril 1893 en présence de commissions d'officiers brésiliens et japonais, entre autres Son Excellence l'amiral de Abreu et M. le colonel Arisaka.

Au mois de mai, on a procédé, au polygone du Hoc, à des expériences de tir de justesse avec le canon de 10 *cm* — 80 calibres — en présence d'une commission de la Marine française, présidée par M. Le colonel Leherle.

Quatre salves, de cinq coups chacune, ont été tirées sur but fixe pour les deux premières salves et pour les trois autres sur une cible permettant de simuler le tir sur but mobile.

Les croquis ci-joints montrent les résultats obtenus au cours de ces essais. La précision du tir à été très grande.

Résumé des expériences faites en mars 1894 avec des canons Canet de 12 centimètres, de 26 calibres, à tir rapide, livrés au gouvernement japonais et destinés à la défense des côtes

POIDS DU PROJECTILE	POIDS DE LA CHARGE	NATURE DE LA POUDRE	VITESSE INITIALE	PRESSION MOYENNE	OBSERVATIONS
kg	*kg*		*m*	*kg*	
18,200	2,2	B N	471	1 426	
18,100	2,5	—	532	1 792	
18,150	2,8	—	569	2 086	
18,000	3,0	—	609	2 450	
18,200	3,2	—	634	3 182	Tir de résistance.

Des tirs de justesse et de rapidité ont en outre été effectués avec ces bouches à feu sur un but en mer placé à 500 *m* et à 1000 *m* de la bouche de la pièce.

Le but était composé d'une cible reposant sur des tonneaux.

Nous donnons ci-joint *(fig. 17 à 21, Pl. 119)*, une vue des cibles après les tirs exécutés en 1894, avec ce canon court de 12 *cm* de puissance moyenne, à vitese initale réduite, commandé par le gouvernement japonais pour la défense des passes.

Les cibles ont été placées à 1 000 *m* puis à 500 *m*.

La justesse du tir a été très satisfaisante.

TRACÉS DES CHEMINS DE FER

MÉTHODE POUR MENER UNE NORMALE
A UNE COURBE DE RACCORDEMENT

PAR

M. E. DARESTE

Mener une normale à une courbe de raccordement est une opération que les agents de la construction des chemins de fer ont fréquemment à exécuter, notamment pour le lever des profils en travers, et l'implantation des petits ouvrages, dallots, aqueducs, passages à niveau, etc. Nous espérons donc rendre service à nos collègues en leur décrivant une méthode rapide, facile à appliquer, et, cependant assez précise. Cette méthode reposant sur deux propriétés très connues des angles a peut-être déjà été imaginée et mise en pratique par des opérateurs; mais, ne l'ayant vue décrite et employée nulle part, nous avons jugé utile de la vulgariser.

Voici les principes de géométrie sur lesquels nous nous appuyons :

Etant donnés un arc de cercle ASB de rayon R, un point quelconque M de cet arc, et le rayon MO (ou normale à l'arc de cercle au point M), traçons une circonférence O′ de rayon $\frac{R}{2}$, ayant pour diamètre la ligne SO qui joint le centre O de l'arc de cercle à son milieu S, et coupant la corde AB aux points a et b et le rayon MO au point C; puis, joignons le point C aux points a et b. On sait que :

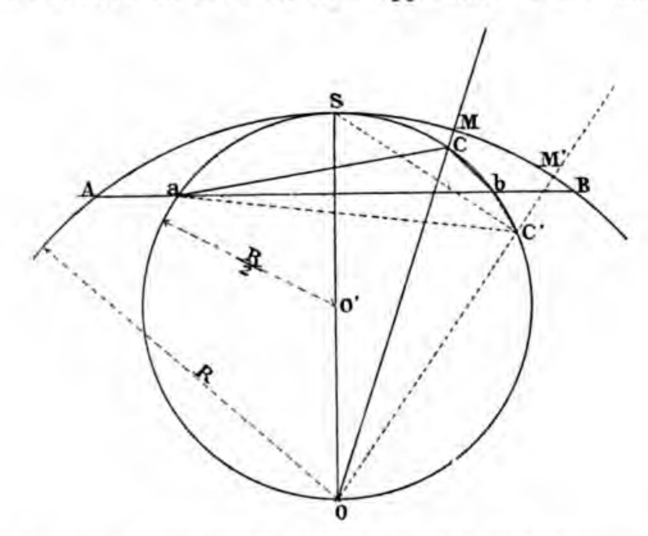
1° L'angle aCb est constant quelle que soit la position du point C sur l'arc aCb.

2° La normale MO est la bissectrice de cet angle.

Si le point M occupe la position M′, telle que le point C devenu C′ se trouve situé, non plus sur l'arc de cercle aSb, mais, sur l'arc de cercle aOb, l'angle $aC'b$ est encore constant et égal au supplément de l'angle aCb; sa bissectrice C′S est perpendiculaire à la normale OM′.

Transportons-nous maintenant sur le terrain :

L'arc de cercle ASB est une portion de la courbe de raccordement tracée suivant la méthode usuelle, au moyen de piquets limitant des arcs de **10** *m* de développement. A et B sont deux



piquets de courbe consécutifs. M est le point (défini par un piquet) par lequel nous nous proposons de faire passer une normale à la courbe.

La marche à suivre est la suivante :

1° Chercher dans la table ci-jointe (2e colonne) la longueur A*a* = B*b* correspondant au rayon de la courbe (1re colonne); appliquer cette longueur sur le terrain, et marquer chacun des ponts *a* et *b* par un jalon ou une fiche.

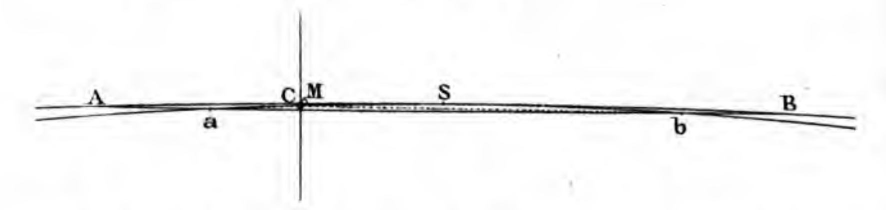
2° Disposer un graphomètre de façon que l'angle des deux lignes de visée soit égal à l'angle *a*C*b* fourni dans la troisième colonne de la même table.

3° Placer au moyen de quelques tâtonnements le graphomètre, dans une position telle que les deux lignes de visée passent respectivement par les jalons *a* et *b* et que la bissectrice de l'angle qu'elles forment passe par le piquet M. Cette bissectrice sera la normale au point M. La valeur du demi-angle *a*C*b* nécessaire pour trouver la direction de la bissectrice est donnée dans la quatrième colonne.

Si le point M occupe la position M', on voit de suite, sans qu'il soit besoin d'autres explications comment doit s'appliquer la méthode; mais, dans ce cas, c'est aux colonnes 5 et 6 de la table

qu'il faut recourir pour connaître les angles qu'on doit employer.

Les tâtonnements dont nous venons de parler ne sont pas beaucoup plus difficiles que ceux qu'on pratique pour abaisser d'un point une perpendiculaire sur un alignement (opération fréquente en arpentage); mais ils sont abrégés par ce fait que la distance entre les points M et C n'est que de quelques centimètres et que par conséquent, le pied du graphomètre sera dans la plupart des cas en contact avec le piquet M (*fig.* 2).



L'opération serait plus commode si les constructeurs d'instruments mettaient entre nos mains un graphomètre donnant automatiquement la direction de la bissectrice; il serait bien facile de réaliser ce desideratum sans compliquer beaucoup le graphomètre.

TABLE

RAYON	Aa = Bb	ANGLE aCb	DEMI-ANGLE aCb	ANGLE aC'b SUPPLÉMENT ANGLE aCb	ANGLE aC'M'
100	1,465 m	175° 56′ 53″	87° 58′ 26″	4° 3′ 7″	92° 1′ 3″
110	»	176 19 1	88 9 30	3 40 59	91 50 29
120	»	176 37 26	88 18 43	3 22 34	91 41 17
130	»	176 53	88 26 30	3 7	91 33
140	»	177 6 21	88 33 10	2 53 39	91 26 49
150	»	177 17 57	88 38 58	2 42 3	91 21 1
160	»	177 28 4	88 44 2	2 31 56	91 15 58
170	»	177 37	88 48 30	2 23	91 11 30
180	»	177 44 57	88 52 28	2 15 3	91 7 31
190	»	177 52 3	88 56 1	2 7 57	91 3 58
200	»	177 58 29	88 59 14	2 1 31	91 0 45
250	»	178 22 48	89 11 24	1 37 12	90 48 36
300	»	178 38 56	89 19 28	1 21 4	90 40 32
350	»	178 50 30	89 25 15	1 9 30	90 34 45
400	»	178 59 13	89 29 36	1 0 47	90 30 34
450	»	179 5 56	89 32 58	0 54 4	90 27 2
500	»	179 11 23	89 35 42	0 48 37	90 24 18

NOTES

DE

NOS CORRESPONDANTS ET MEMBRES

DE PROVINCE ET DE L'ÉTRANGER

L'ANTHRACITE DU VAL D'AOSTE

PAR

M. D. FEDERMAN

MEMBRE CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ A TURIN

La Vallée d'Aoste est assez connue par ce qu'en ont dit les géologues et les touristes qui l'ont parcourue pour que nous n'en fassions point la description, nous bornant à celle du bassin d'anthracite et plus particulièrement de la région de La Thuile.

La commune de La Thuile est la dernière localité italienne des Alpes Graïennes avant d'arriver au Petit-Saint-Bernard; c'est là que sont concentrées les exploitations d'anthracite. Elle est située au nord-ouest de la ville d'Aoste à 1 440 *m* d'altitude, à l'entrée d'une vallée très pittoresque qui s'étend vers le sud jusque dans les flancs du glacier du Ruitor, entourée de forêts formant un contraste saisissant avec les imposantes masses de glace qui recouvrent les sommets des montagnes environnantes.

La distance entre La Thuile et la gare du chemin de fer d'Aoste à Turin et à Milan est de 41 *km*; la commune est reliée à la voie ferrée par la route du Petit-Saint-Bernard.

Déjà, à plusieurs reprises, l'idée de mettre en communication la haute vallée avec son chef-lieu au moyen d'un chemin de fer a été émise; mais aucun des projets n'a pu être mis à exécution parce qu'il manquait l'essentiel pour un chemin de fer à faible trafic : une installation peu dispendieuse. Cependant nous ne pensons pas que cela soit impossible, si l'on se contentait de prendre comme station terminus le village de Pré-Saint-Didier, ou même celui de Morgex, et en suivant la route nationale par

une ligne à voie étroite. D'Aoste à Pré-Saint-Didier il y a 31 374 *m* et la différence de niveau entre ces deux localités est de 432,79 *m*, ce qui donne une rampe moyenne de 1,38 0/0; d'Aoste à Morgex la différence est de 343,81 *m* pour une longueur de 27 046 *m*, soit moins de 1,3 0/0.

Ce chemin de fer est réclamé avec instance par une population qui ne peut écouler les produits de son sol par suite du manque de communications économiques avec les grandes artères. Car, outre l'anthracite, il existe dans cette région des gîtes très importants d'ardoise et de calcaire, sans compter le bois et les fromages, dont les cinquante montagnes (c'est ainsi qu'on appelle les pâturages disséminés jusqu'au Petit-Saint-Bernard et au col Ferret) en fournissent, avec les fermes de la vallée, environ 300 000 *kg* annuellement.

Géologie.

Les géologues ont beaucoup discuté sur l'âge du terrain carbonifère des Alpes. En 1879, l'Académie dei Lincei, section des sciences naturelles, insérait dans ses Mémoires un travail très remarquable du professeur Baretti sur les terrains anthracifères des Alpes Graïennes septentrionales, établissant, à la suite d'observations réitérées et de patientes recherches couronnées de succès, que l'on est parfaitement dans le terrain houiller. M. Baretti a rapporté de ses excursions des empreintes de fossiles végétaux dans les schistes qui ont été déterminés par M. Portis, professeur à l'Université de Turin. Voici les noms de ces fossiles : *Calamites Sauckowii* (Brongt), *Calamites Cistii* (Brongt), *Asterophyllites longifolius* (Sternb.), *A. Equisetiformis* (Schloth), *Annularia brevifolia* (Brongt), *Nevropteris*, *Lepidodendron Sternbergii* (Brongt), *Lepidophyllum majus* (Brongt), *L. Trilineatum* (Heer), *L. Caricinum* (Heer). Tous fossiles appartenant à la formation carbonifère.

Le terrain carbonifère dans le Val d'Aoste forme une zone continue avec direction S. 50° O.-N. 50° E. et inclinant de 30° à 45° S. Cette zone d'une largeur de 2 à 6 *km* fait suite à celle de la Savoie. Après s'être étendue sur la rive droite de l'Isère entre Aime et Bourg-Saint-Maurice, elle pénètre en Italie entre le Petit-Saint-Bernard et le mont Valaisan par le versant méridional de la vallée d'Aoste pour rejoindre le thalweg entre Derby et Morgex. De là, elle va traverser le col de Séréna et par le Tête de Crévacol elle entre dans le vallon du Grand-Saint-Bernard, puis dans le Valais par le col de Fenêtre.

La limite occidentale du terrain carbonifère est formée de gypse, de cargneules et de quartzites. Le gypse est surmonté d'un schiste argilo-talqueux gris, quelquefois blanc, s'appuyant sur le calcaire cipollin. En descendant la vallée, on rencontre au-dessus d'un grès houiller une puissante couche de schiste argilo-talqueux dur, souvent mélangé de calcaire, et sur les flancs du torrent Ruitor se trouve une espèce de poudingue renfermant des fragments de schiste argileux enveloppant des nodules et de véritables cailloux de quartz roulés. Ces poudingues présentent un grand développement; ils passent aux grès, puis aux schistes gris et noirs surchargés de carbone en diminuant la grosseur de leurs fragments. C'est entre ces roches et en suivant exactement leur allure que se trouve encaissé l'anthracite.

Travaux de recherches.

Les premiers travaux d'excavations et les premières applications de l'anthracite ne datent guère que du commencement de ce siècle. On l'utilisait alors, comme on le fait encore de nos jours, pour la cuisson de la chaux et pour le chauffage des habitations de la localité. L'exploitation des couches carbonifères se pratiquait de la façon la plus rudimentaire par les habitants mêmes des lieux, qui n'ont guère amélioré leur méthode aujourd'hui. Ils trouvent un affleurement et le suivent jusqu'au moment où les eaux, lorsqu'on était allé en descenderie, ou les éboulements, quand on était en remonte, ont mis un obstacle à l'exploitation, en faisant chaque année de nombreuses victimes. A quelques mètres de là surgit un autre affleurement, et ces mineurs improvisés l'attaquent pour l'abandonner au premier accident. De telle sorte l'on rencontre sur une grande longueur dans la direction du terrain carbonifère une infinité d'excavations sans profondeur sérieuse dénotant autant de points exploités seulement à la surface.

Il a été constaté dans la région de La Thuile jusqu'à sept couches d'anthracite superposées avec intercalations de grès et des schistes noirs. Leur allure est ondulée avec alternations de rétrécissements et de renflements qui atteignent parfois jusqu'à 5 *m* de puissance, formant ainsi une série d'amas lenticulaires. En certains endroits, la roche encaissante est un schiste noir très feuilleté que les montagnards discernent mal du véritable minéral; il est luisant et onctueux, assez riche en carbone, comme

le démontre l'analyse faite à l'Ecole d'application des Ingénieurs à Turin :

Eau hygroscopique	0,008
Matières volatiles	traces.
Cendres.	0,750
Soufre	traces.
Carbone fixe	0,242
	1,000
Plomb réduit en gr.	8,037
Calories.	1891

Lorsque ces schistes apparaissent, il n'est pas rare de rencontrer des noyaux de charbon compact très dur que l'on désigne sous le nom de *châtaignes de charbon.* Quelquefois la couche se redresse et se replie pour former ce que les mineurs appellent un *crochon.*

La nature de l'anthracite est formée d'une masse grisâtre ou noire très onctueuse au toucher. L'anthracite noire, d'un aspect plutôt terne, à éléments fins, serrés et empâtés est d'une qualité inférieure à l'anthracite grisâtre et lamelleux qui rend beaucoup moins de cendre et tient mieux au feu.

Des essais ont été faits à Turin, par les professeurs V. Fino et B. Porro, sur des échantillons pris en divers points de la zone de La Thuile. Voici les résultats de ces analyses ayant donné le minimum 50 0/0 et le maximum 85 0/0 de carbone sur 27 échantillons :

Matières volatiles.	4,80	2,65
Cendres	45,10	11,50
Soufre.	0,21	0,09
Carbone fixe	49,89	85,76
	100 »	100 »

M. le chevalier O. Blanchetti, qui s'occupe depuis de longues années des mines de la région, a confectionné des agglomérés avec de l'anthracite de La Thuile qui ont donné des résultats très satisfaisants à l'arsenal de Turin. Il est certain qu'on pourrait ainsi utiliser les menus sur place en fabriquant des briquettes pour tous les chauffages.

La question d'un combustible minéral en Italie est une de

celles qui ont le plus grand intérêt en ce qui concerne l'industrie et l'économie de ce pays. Quand on songe aux millions dont l'Italie est tributaire de l'étranger pour les houilles qu'elle emploie, il y aura, dès qu'on aura compris toute la richesse du sol des Alpes Graïennes et le parti qu'on en peut tirer, un vaste champ à exploiter. Ces régions sont restées isolées jusqu'à ce jour du reste de la péninsule par suite du manque de communications économiques. On parle en ce moment d'un nouveau chemin de fer d'Aoste à Pré-Saint-Didier ; si l'on réussit à le construire, les mines ne tarderont pas à s'ouvrir et une ère florissante commencera pour ce coin de l'Italie, si longtemps délaissé. On sait que la Pensylvanie, le Connecticut et la Virginie doivent leur prospérité en grande partie aux dépôts d'anthracite qui forment une zone très étendue dans ces contrées ; il n'y aurait donc rien d'étonnant que le Val d'Aoste, dans des proportions relatives, ne prît un jour une place importante parmi les centres industriels de l'Italie.

CHRONIQUE

N° 177.

SOMMAIRE. — Chauffage des voitures de tramways. — Locomotion par la vapeur sur les routes ordinaires. — Notes sur les chemins de fer suisses. — Bacs à vapeur de la Mersey. — Le paquebot-poste belge *Marie-Henriette (complément)*.

Chauffage des voitures de tramways. — La question du chauffage des voitures qui servent au transport en commun dans les villes a pris une certaine importance dans ces derniers temps; il nous a paru intéressant de donner ici quelques renseignements empruntés aux publications de l'*Union internationale permanente de Tramways* dont la dernière session a eu lieu à Cologne du 21 au 24 août dernier.

Il a été répondu par quinze sociétés au questionnaire adressé par l'*Union*, questionnaire portant sur un certain nombre de points relatifs au sujet du chauffage des voitures. Nous reproduisons les plus intéressantes de ces réponses.

Les *tramways d'Aix-la-Chapelle* n'ont pas encore fait d'essai de chauffage des voitures, mais ils se préoccupent cependant de rechercher le moyen de résoudre la question du chauffage de la façon la plus pratique, parce qu'ils ont constaté une forte diminution de recettes pendant les jours de gelée et qu'il est probable que l'emploi de voitures chauffées aurait pour résultat de remédier à cet inconvénient.

La *Société nationale des Chemins de fer vicinaux belges* expose que la question du chauffage de ses voitures est fort difficile à résoudre; diverses circonstances compliquent le problème. On ne peut emprunter à la locomotive de la vapeur qui circulerait dans des tuyaux placés dans les véhicules, à cause des wagons de marchandises que des prescriptions spéciales obligent à mettre entre la machine et la voiture; de là impossibilité d'établir des raccords; ceux-ci, du reste, deviendraient un embarras assez sérieux pour des trains un peu longs.

La Société nationale des chemins de fer vicinaux fait construire en ce moment une petite chaudière à combustion lente, fixée à la traverse de tête de la voiture; la vapeur circule dans des tuyaux recouverts de tôles perforées pour former chaufferettes; l'eau de condensation retourne à la chaudière. La pression de la vapeur et l'alimentation de la chaudière sont réglées automatiquement.

On peut douter que cette solution soit pratique. Les voitures de la Société comportent douze glaces ouvrantes et deux portes situées en face l'une de l'autre; les haltes étant généralement rapprochées, on les ouvre souvent, soit pour l'entrée des voyageurs, soit pour le service des receveurs. Il en résulte des causes multiples de déperdition de chaleur.

La Société a jusqu'à présent distingué pour le chauffage entre les voitures de première classe et celles de seconde. Dans les premières, le public étant mieux vêtu, il a semblé qu'il était suffisant de donner des chaufferettes pour les pieds; au contraire les voyageurs de seconde portant des vêtements moins chauds, on a préféré leur donner des poêles.

Parlons d'abord de ces derniers.

Trois systèmes ont été successivement mis en service : Le premier a fonctionné depuis 1886; c'est un poêle appelé vulgairement poêle-tortue; il se compose d'un simple récipient cylindrique de 0,60 *m* de hauteur sur 0,30 *m* de diamètre (dimensions extérieures). Il n'a pas de grille et le chargement se fait par le haut.

Un revêtement intérieur de terre réfractaire protège la tôle; les produits de la combustion s'échappent par une cheminée verticale, buse en fer battu qui traverse le toit de la voiture, une enveloppe en tôle perforée entoure le récipient. Le poêle brûle du coke et se place dans un coin de la voiture dont on enlève un banc, soit deux places. A la partie inférieure se trouve une ouverture par laquelle on retire les cendres, elle sert également au réglage qui s'opère à l'aide d'un registre qu'on peut glisser en admettant ainsi un volume d'air variable.

Ce poêle est simple et très économique, mais présente des inconvénients sérieux : le faible volume du récipient rend le réglage très difficile; si on ferme entièrement le registre, le feu s'éteint; pour peu qu'on l'ouvre, la chaleur devient trop forte; de plus, l'enlèvement des cendres donne beaucoup de poussière; comme il faut allumer tous les jours et qu'il faut recharger au moins toutes les trois heures, l'entretien de ce poêle demande des soins.

Il coûte environ 50 *f* y compris placement et consomme par jour pour 0,20 *f* de combustible au maximum.

Un second système a été employé pendant deux ans, il se composait d'un tuyau cylindrique muni vers sa partie supérieure d'une grille réversible à l'aide d'une clef extérieure; ce tube est fermé au-dessus par un couvercle; les gaz s'échappent vers le haut par une ouverture latérale d'où une busette les conduit vers le bas; le tout est enveloppé d'une enveloppe en tôle perforée. L'air est admis sous la grille par une buse qui pend sous le niveau du plancher de la voiture et qu'on peut fermer plus ou moins à l'aide d'une clef. On brûle des briquettes préparées à l'aide de charbon végétal et de substances réfractaires telles que la chaux.

Ce système présente de très graves défauts : pour produire une chaleur à peine appréciable, il fallait brûler en deux fois seize briquettes; le prix du chauffage était ainsi de 0,50 *f* par jour-voiture. Il fallait aussi un fourneau spécial pour l'allumage, à moins de se servir du foyer de la locomotive; enfin, et ceci est fort sérieux, le public s'aperçut bien vite qu'en entr'ouvant le couvercle, la combustion se trouvait notablement activée, le tirage se faisant alors non plus par la busette, de haut en bas, mais par l'intérieur du compartiment en y introduisant évidemment de l'acide carbonique. Des cas d'asphyxie partielle s'étant produits, on abandonna ce poêle sans regret.

Le troisième modèle auquel on s'est arrêté n'est autre qu'un perfectionnement du premier : la hauteur du récipient a été portée à 0,90 *m*

et le diamètre à 0,30 *m* (dimensions extérieures); de la sorte, il peut contenir 9 *kg* de coke; il se charge par le haut, la burette d'échappement des gaz se trouve également à la partie supérieure et traverse le toit du véhicule. En dessous le combustible repose sur une grille horizontale, mobile autour d'un axe vertical; sous la grille est ménagé un compartiment où se place un bac en tôle servant de cendrier; le même compartiment est muni d'une porte mobile qui permet l'enlèvement du cendrier; dans cette porte existe une rosace de réglage pour réduire au besoin l'admission de l'air.

Le chauffage est *continu*, par conséquent plus d'allumages journaliers. Le chargement peut presque toujours se faire une fois seulement par vingt-quatre heures. Le chargement normal se compose de 7 *kg* de coke, le maximum de consommation ne dépasse jamais 10 *kg*; le prix de revient varie donc entre 0,10 *f* et 0,15 *f* par vingt-quatre heures-voiture.

L'expérience que la Société a de ce système est suffisante pour déclarer que c'est le meilleur de tous ceux qui lui ont été proposés; il n'est d'ailleurs autre chose que le poêle continu qui a eu tant de succès pour les appartements. Il coûte 40 *f*, pose comprise. On a vu plus haut qu'on employait des chaufferettes pour les premières; elles ont la forme ordinaire et sont munies d'une double enveloppe. Dans un tiroir, on place deux petites briquettes spéciales préalablement rougies, dont la combustion dure huit heures. Ces briquettes coûtent 0,02 *f* pièce; le chauffage d'une voiture de première classe coûte 0,24 *f* par jour; dans les grands froids, il n'est pas suffisant; de plus, il dégage un peu d'acide carbonique. Les bons résultats obtenus du poêle décrit ci-dessus ont décidé la Société à l'appliquer même aux compartiments de première classe.

L'*Administration centrale des chemins de fer secondaires* à Berlin a essayé le chauffage au moyen de briquettes; elle ne peut pas encore se prononcer sur la valeur de ce système dont l'installation revient à 250 *f* par voiture.

Le chemin de fer d'intérêt local de Crefeld à Uerdingen n'a pas encore fait d'essai de chauffage sur ses voitures. Il estime qu'il est malsain de chauffer les voitures qui circulent à l'intérieur des villes parce que, chaque fois qu'une porte s'ouvre, l'air froid pénètre à l'intérieur. Pour de longues lignes sur lesquelles il y a un trafic assez important d'une extrémité à l'autre, l'inconvénient du chauffage est moindre.

Les tramways de Dresde ont fait des essais de chauffage qui leur ont donné les meilleurs résultats.

Aux voitures automotrices, on a adopté un système de chauffage électrique absorbant 2 000 watts et placé sous les banquettes. En une heure, on atteint à l'intérieur des voitures une température dépassant de 17° C. la température extérieure. La manipulation de l'appareil est aussi simple que possible. Avec un peu de soin, le chauffage électrique est hautement recommandable.

Pour le chauffage des voitures à chevaux, on a employé les appareils brevetés de la *Deutsche Glühstoffgesellschaft* (Société allemande pour la fabrication des matières incandescentes), à Dresde. Comme combustible on employait la matière incandescente (brevet Martin). La chaufferie

est placée sous les sièges dont la paroi antérieure est formée d'une tôle perforée par laquelle l'air chaud pénètre dans la voiture. Le procédé ne donne ni odeur ni fumée, est d'une application facile et peut être considéré, malgré quelques petits inconvénients, parmi les meilleurs systèmes de chauffage qui aient été encore proposés pour les voitures de tramways.

La Société dont nous nous occupons ne recommande pas le chauffage des voitures circulant à l'intérieur des villes; par contre, elle considère comme une chose utile et recommandable de chauffer les voitures qui traversent les villes pour desservir des faubourgs et dans lesquelles les voyageurs doivent séjourner pendant un certain temps (environ une demi-heure ou trois quarts d'heure).

L'installation du chauffage électrique coûte environ 110 *f*. Le coût du chauffage par jour-voiture, par un froid de — 6° à 8° C. et pour un service journalier de dix-huit heures, est de 2,50 *f* à 2,75 *f* pour le chauffage électrique et de 0,75 *f* à 0,95 *f* pour le chauffage par incandescence.

Les *tramways de Francfort* n'ont pas fait d'essais de chauffage. Ni les autorités ni les médecins qui ont été consultés, ni le public ne demandent le chauffage des voitures, comme il appert du reste de toute une série de lettres et de communications reçues par la Société; avec le trafic considérable qui existe sur ces lignes, le chauffage vicierait certainement l'air des voitures et en rendrait le séjour désagréable.

En moyenne les voyageurs ne séjournent que huit à neuf minutes dans les voitures ; dans ces conditions, le chauffage est inutile et pourrait même présenter des dangers au point de vue de la santé. Il est possible que pour de longs trajets et sur des lignes très peu fréquentées, le chauffage des voitures soit recommandable.

Les tramways de Halle ont essayé, pendant assez longtemps, deux systèmes différents dont l'un, celui de la maison Berghausen Sen., de Cologne, a donné des résultats satisfaisants. L'appareil consiste en un tuyau en cuivre installé sous une des banquettes et dans lequel on introduit des briquettes spéciales par une petite porte percée dans une des parois de tête de la voiture. Les produits de la combustion sont conduits à l'extérieur par un tuyau dépassant le toit de la voiture. A Halle, deux chargements de cinq briquettes chacun suffisaient au chauffage d'une voiture pendant toute une journée. Ces briquettes coûtant 0,09 *f* l'une, la dépense de chauffage par jour-voiture a donc été de 0,90 *f*.

Par des temps très froids, la quantité de briquettes nécessaires deviendrait plus considérable et le coût du chauffage augmenterait également.

Le prix d'un appareil est de 100 *f*; les prix de montage et d'installation sont d'environ 25 *f*, de sorte que l'appareil tout posé revient à 125 *f* par voiture.

Les tramways de Hambourg ont essayé les systèmes de chauffage suivants :

1° Appareil de Berghausen sen. de Cologne.

2° Chauffage à l'acétate de soude, au moyen d'appareils spéciaux du système de la Société.

3° Un dispositif de son système chauffant le plancher des voitures.

C'est la dernière méthode qui a donné les meilleurs résultats.

Les considérations suivantes ont servi de base aux essais qui ont été faits :

1° Il ne faut pas que les gaz produits par la combustion pénètrent dans les voitures.

2° Comme la partie supérieure du corps est protégée par les vêtements que portent les voyageurs, vêtements qui ne sont jamais retirés pendant le temps toujours relativement court pendant lequel les voyageurs séjournent dans la voiture, il n'y a pas lieu de chauffer toute la voiture, mais seulement le plancher, de façon à éviter le froid aux pieds. En même temps, le chauffage doit être uniforme dans toute la longueur de la voiture.

Si le plancher est trop fortement chauffé, de même que si l'on chauffe tout l'intérieur de la voiture, les voyageurs entrent facilement en transpiration et s'exposent à des refroidissements lorsqu'ils quittent la voiture. En outre un plancher trop chauffé donne lieu à un dégagement de gaz mal odorants, provenant de la décomposition de la boue qui adhère aux chaussures.

Le système Berghausen ne remplit que la première de ces conditions. Le chauffage produit par ce système est très irrégulier, les voyageurs assis sur la banquette sous laquelle l'appareil est installé souffrent de la chaleur tandis que les autres ne profitent guère du chauffage.

Le chauffage à l'acétate de soude remplit toutes les conditions, mais présente l'inconvénient d'exiger une manipulation trop compliquée parce que les bouillottes, qui pèsent chacune environ 50 *kg*, doivent être remplacées et rechauffées plusieurs fois par jour.

Le système n° 3 (1) a donné toute satisfaction sous tous les rapports; le chauffage du plancher donne une chaleur agréable et uniforme, le service est aussi simple que possible et les frais d'entretien peu élevés. Les dépenses de premier établissement pour une voiture à 20 places intérieures s'élèvent, montage compris, mais sans compter le prix du plancher à lattes spécial que nécessitent ces systèmes, en chiffres ronds à 62,50 *f* pour le premier, à 150 *f* pour le second et à 87,50 *f* pour le troisième.

On ne possède pas de renseignements sur le coût du chauffage et de l'entretien pour le système Berghausen.

Le procédé à l'acétate de soude est employé sur la ligne à vapeur Hambourg-Wandsbeck. Pour chauffer les bouillottes, on se sert de la vapeur de la locomotive de réserve sous pression. Cette locomotive amène également les bouillottes chaudes à la voiture et rapporte au dépôt celles qui ont servi. L'acétate de soude ne devant pas être renouvelé, les seules dépenses qu'entraine ce système consistent dans le chauffage des bouillottes et leur transport à la voiture et retour. Comme la locomotive de réserve doit être prête à fonctionner de toute façon, il n'est pas possible

(1) Ce système, décrit avec dessin dans le rapport, consiste dans un foyer placé sous le plancher de la voiture et dans lequel on introduit les briquettes ; ce foyer est muni d'une enveloppe isolante qui empêche le rayonnement. L'air s'introduit selon la direction dans laquelle marche la voiture et les produits de la combustion circulent dans un tuyau plat placé sous le plancher. Pour que le chauffage soit uniforme, on a la précaution de recouvrir de carton d'amiante les parties les plus chaudes de ce tuyau.

d'estimer avec précision ces dépenses, qui sont, dans tous cas, très peu élevées.

Le chauffage d'une voiture par le procédé n° 3 exige journellement dix briquettes au charbon de bois coûtant ensemble 0,75 *f*. On ne peut encore fournir de renseignements sur les frais d'entretien des appareils, parce que ceux-ci ne fonctionnent que depuis la fin de l'année 1893.

(A suivre.)

Locomotion par la vapeur sur les routes ordinaires. — On pourrait croire, d'après quelques publications récentes, que la question de la locomotion par la vapeur sur les routes ordinaires est née d'hier, et qu'il n'y a pour ainsi dire aucun intermédiaire entre l'essai grossier de Cugnot et le concours organisé par *le Petit Journal*. Les personnes qui sont quelque peu au courant du sujet savent parfaitement qu'il est loin d'en être ainsi. Nous ne remonterons pas à Trevithick, qu'on peut considérer comme ayant le premier fait fonctionner, avec quelque succès, une machine à vapeur sur une route ordinaire, et cela, il y a à peu près cent ans, mais nous croyons qu'on lira avec intérêt l'article suivant, extrait de la *Revue Britannique*, de novembre 1833.

« *Des chemins de fer, des routes ordinaires, et des voitures à vapeur.* — Ce n'est pas sans un sentiment pénible que nous voyons l'ardeur presque fébrile avec laquelle on se livre en France et sur le continent, à la construction des chemins de fer. Après avoir tant tardé à suivre notre exemple, il nous semble qu'il serait plus sage et plus convenable d'attendre que le problème des voitures à vapeur, surtout sur des chemins ordinaires, soit définitivement résolu. Pourquoi faire tant de dépenses, si un moyen plus simple et moins coûteux doit remplir le même objet? D'ailleurs, les chemins de fer ne sont réellement utiles et profitables que pour franchir les petites distances et lorsqu'ils servent de point de communication à deux villes très commerçantes et qui ont des rapports très suivis. La difficulté d'approvisionner d'une manière régulière les chariots de transport sur une ligne d'un long parcours, doit nécessairement entraîner des non-valeurs considérables. Aussi pensons-nous qu'il vaudrait mieux que les Français, avant de se lancer dans les constructions coûteuses des chemins de fer, fissent quelques essais pour s'assurer si le nouveau système des voitures à vapeur peut fonctionner sans obstacles sur leurs chemins ordinaires.

Depuis 1830, la construction des voitures à vapeur destinées à parcourir les routes ordinaires a fait en Angleterre de très grands progrès et aujourd'hui plusieurs de ces voitures circulent sur nos routes. C'est à l'Ingénieur Gurney que l'on doit les premiers essais de ce nouveau système de transport. En 1827, il fit fonctionner à Windsor et dans quelques jardins publics, ces nouvelles voitures. Dans ces premiers modèles, la machine à vapeur était adhérente à la caisse de la voiture qui roulait sur six roues, dont les deux de devant servaient à guider sa marche; mais quelques vices inhérents à l'ensemble de la machine le forcèrent à ajourner la mise à exécution de son projet sur une grande échelle. En 1829, il modifia son système et produisit un modèle de machine qui servait de remorqueur; celle-ci fonctionna sur la route de Melksham à

Cranford, et parcourut la distance qui sépare ces deux villes, en dix heures, quoiqu'elle soit de 88 milles (129 *km*). Depuis 1829, on a tenté divers essais qui ont plus ou moins bien réussi; nous citerons les suivants :

M. Hancock a établi deux services : l'un entre Greenwich et Brighton et l'autre entre Paddington et Hampstead; et M. Ogle en a établi un autre entre Londres et Southampton. Dans toutes ces entreprises, la machine à vapeur est inhérente à la caisse de la voiture. Voici la description succincte de cette machine : le mécanisme se compose de deux cylindres de 18 pouces de diamètre et 16 de course; la voiture ne pèse que 3 *t*; sa force est de 12 à 15 *ch*; les manivelles font 62 tours par minute; la vitesse peut s'élever à 14 milles (22 1/2 *km*) à l'heure, en brûlant trois boisseaux de coke par mille. La chaudière est formée de tubes plats, perpendiculaires, séparés et maintenus par des règles en fer. Aucune apparence de cheminée ne se fait remarquer à l'extérieur; les roues sont commandées par des chaînes ordinaires et un frein d'une espèce nouvelle sert à retarder les mouvements de la voiture dans les descentes; il se compose d'une bande de fer qui s'applique sur le quart supérieur de la roue, et le conducteur peut le manœuvrer sans abandonner le gouvernail de la voiture.

M. Hancock a assuré, dans ses réponses au comité d'enquête, que ses voitures faisaient ordinairement 10 milles (16 *km*) à l'heure, et M. Ogle a dit que la vitesse de ses voitures d'essai destinées à faire le trajet de Londres à Southampton, était par intervalles de 32 à 35 milles à l'heure. Il a ajouté qu'elles avaient remonté une côte dont la moyenne de l'élévation est de un mille sur six (16,6 0/0), à raison de 16 1/4 (26 *km*) milles à l'heure et que, sur la route de Londres, elles parcourent aujourd'hui 24 1/2 (33 *km*) par heure. En général, ces voitures, capables de recevoir de 12 à 36 personnes, peuvent transporter de trois à cinq fois leur propre poids. M. Hancock a calculé que le parcours de 3 644 milles (5 867 *km*) ne lui avait coûté en combustible que 78 livres sterling (1 950 *f*), (soit environ 0,34 *f* par kilomètre).

Voici maintenant le résumé du rapport adressé au Parlement par le comité d'enquête chargé d'examiner ce nouveau mode de transport.

« Les voitures à vapeur, y est-il dit, fonctionnant sur les routes ordinaires, peuvent parcourir 10 à 12 milles (16 à 19 *km*) à l'heure et porter de 14 à 30 voyageurs. Ces voitures dont le poids varie de 2 à 3 tonnes ne présentent aucun danger pour le voyageur et peuvent gravir sans difficulté les côtes les plus rapides. A tous égards, elles sont préférables aux voitures traînées par les chevaux et, loin de dégrader les routes, elles concourent plutôt à leur entretien. »

Nous ajouterons à ces renseignements quelques détails sur les expériences qui viennent d'être faites par MM. Heaton, sur la route de Bristol, avec une machine à vapeur qui servait de remorqueur à une voiture ordinaire. « En partant de notre manufacture située à Sladwell-stret, disent ces constructeurs, 15 personnes se trouvaient dans la voiture; mais, arrivés sur la route de Bristol, nous reçûmes un renfort de cinq autres voyageurs et, avec ce poids, nous arrivâmes en 56 minutes

à Bell-Inn; nous avions parcouru dans cet espace de temps 7 milles (11,3 *km*). De là nous franchîmes en moins de dix minutes une petite colline assez escarpée; dans cet endroit, le chemin était si mauvais que nos roues tracèrent une ornière de plus de trois pouces de profondeur.

» Enfin nous retournâmes à notre manufacture, après avoir parcouru 29 milles (46,5 *km*) et consumé 12 boisseaux de charbon seulement. Nous avions donc dépensé pour faire ce trajet deux schellings et six pence (3,10 *f*). Comme dans ce premier essai, nous nous sommes arrêtés plusieurs fois, nous ne pouvons préciser quelle a été la moyenne de la vitesse de notre remorqueur, mais nous pouvons garantir qu'elle n'a pas été moindre de 12 milles (19 *km*) à l'heure et nous ajouterons que, d'après le mauvais état de nos routes, le remorqueur pourra fonctionner avec succès sur les chemins ordinaires les plus mal entretenus. »

Ainsi, soit que l'on adopte le système des remorqueurs, soit que l'on préfère celui des voitures portant elles-mêmes leur moteur, il est évident que l'un et l'autre système peuvent remplacer avantageusement les voitures qui ne fonctionnent aujourd'hui qu'avec l'appareil très dispendieux des chemins de fer.

Nous ajouterons à ce qui précède que dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de 1833, se trouve décrit l'essai d'un remorqueur à vapeur de terre fait à Bruxelles en mars 1833, et l'auteur de l'article dit que c'est le *trente-neuvième* appareil de ce genre essayé à sa connaissance.

Nous croyons devoir rappeler également que dès 1840, un mécanicien français, Dietz, a fait circuler dans les rues de Paris une machine à vapeur remorquant d'autres véhicules.

Depuis, il a été fait une quantité innombrable d'essais dont quelques-uns ont été suivis d'exploitations régulières ayant duré plus ou moins longtemps. Il est inutile d'insister davantage sur ce point.

Ces notes étaient déjà à l'impression lorsque nous avons eu connaissance d'une communication faite le 9 août dernier à la réunion de l'Association britannique, à Oxford, par notre éminent collègue sir Frederic Bramwell, sous le titre *Some reminiscences of steam locomotion on common roads*. Après avoir décrit les divers essais de voitures sur routes dont font partie ceux que nous avons donnés plus haut et indiqué les points les plus intéressants des appareils, notamment les générateurs dont plusieurs ne manquent pas d'analogie avec des systèmes employés récemment, le savant ingénieur termine par l'aimable conclusion suivante : « L'auteur n'a pas l'intention de parler du concours qui a lieu actuellement à Paris, mais il est heureux de voir qu'on se préoccupe en France de l'utilité ou, pour mieux dire, de la nécessité qu'il y a à construire des voitures mécaniques pouvant circuler sans éveiller la susceptibilité des chevaux, et, comme il s'est toujours intéressé à la question de la locomotion à vapeur sur les routes, il s'applaudit de voir les Français prendre la question en considération; en effet, grâce à leur habileté mécanique et à leur goût consommé, ils sont plus à même qu'aucun autre peuple d'obtenir d'heureuses solutions du problème. »

Notes sur les chemins de fer suisses. — En 1893, il a été demandé en Suisse 22 concessions de chemins de fer; en outre, 32 restaient pendantes depuis 1882 et 2 depuis 1891. 22 concessions ont été accordées, parmi lesquelles celle du funiculaire de Vernayaz à Gueuroz, du chemin de fer de Renens à Lausanne, du chemin de fer à crémaillère de la station de Jaman au col de Jaman, du chemin de fer à voie étroite en partie à crémaillère de Rolle à Gimel par Bougy.

Restent à liquider, entre autres, une nouvelle traversée du Simplon par un système mixte, un chemin de fer à voie étroite de Vernex aux Planches, avec funiculaire des Planches à Glion. Est périmée, entre autres, la concession pour le tronçon Gimel-Bière, du chemin de fer à voie étroite Gimel-Bière-Apples-Morges.

Des prolongations de délai ont été accordées pour les entreprises du chemin de fer à voie étroite Bière-Apples-Morges, Berne-Neuchâtel, Pont au Brassus par le Sentier, Aigle à Leysin (électrique), Vevey à Thoune par Bulle.

A la fin de 1893, le nombre des concessions en vigueur pour des lignes non encore ouvertes à l'exploitation était de 92.

Au 31 décembre 1893, il y avait sur les chemins de fer suisses, y compris les tramways, 931 locomotives ce qui, pour un réseau de 3400 *km*, fait une moyenne générale de 3,65 *km* pour une locomotive.

Sur ces 931 locomotives, il y en a 759 pour voie normale, dont 240 pour trains express, 153 pour trains de voyageurs, 180 pour marchandises, 58 de montagnes, 106 pour lignes secondaires, et 22 de gare. Le reste se compose de 84 machines pour voies étroites, 7 pour tramways et 81 locomotives à crémaillère, dont 26 mixtes pour adhérence et crémaillère et 55 pour crémaillère seule.

Sur les 931 locomotives dont il vient d'être question, il y en avait 72 appartenant au système compound, ce qui donne une proportion d'un peu moins de 8 0/0; 47 de ces machines étaient à deux cylindres et 25 à quatre cylindres; toutes ces dernières appartiennent au système articulé.

La répartition des locomotives compound sur les différentes lignes a lieu dans les proportions suivantes :

Jura-Simplon. . .	16 express	2 — 4	32 sur	215 soit	15	0/0
— . .	15 Mogul	3 — 4				
— . .	1 mixte	3 — 3				
Nord-Est.	2 express	2 — 4	2	177	1,3	0/0
Central	5 voyageurs	2 — 4	21	126	16 1/2	0/0
—	16 articulées	4 — 4				
Union.	8 Mogul	3 — 4	8	73	11 1/2	0/0
Gothard.	1 articulée	6 — 6	1	101	1	0/0
Landquart-Davos.	2 articulées	4 — 4	2	7	28	0/0
Yverdon-Ste-Croix	3 articulées	4 — 4	3	3	100	0/0
Saignelegier Chaux-de-Fonds	3 articulées	4 — 4	3	3	100	
			72 sur	705 soit	10,3	0/0

La proportion pour les cinq grandes compagnies est de 64 sur 692, soit 9,3 0/0. Ce résultat doit être regardé comme satisfaisant si on considère que l'introduction du système compound sur les chemins de fer suisses ne date que de 1888 où elle a été faite par la transformation par le Jura-Simplon (alors Suisse occidentale Simplon) d'une machine type Bourbonnais. Les locomotives que nous avons mentionnées ont été construites dans l'espace de cinq années. Les commandes en cours d'exécution, portant en grande majorité sur des machines compound, donneront pour les années suivantes une augmentation considérable de la proportion indiquée ci-dessus.

A la fin de 1893, les freins continus étaient appliqués sur 69,4 0/0 des locomotives, 71,5 0/0 des voitures à voyageurs et 84,8 0/0 des wagons-poste et fourgons à bagages. Ces freins appartiennent à un grand nombre de systèmes, Wenger, Schleifer et Westinghouse pour les lignes principales, Klose, Heberlein, Hardy, Körting et Clayton pour les lignes secondaires. Le plus employé est le frein à air comprimé du système Westinghouse qui existait sur 371 locomotives, 1 410 voitures à voyageurs et 428 wagons-poste et fourgons.

Quant au chauffage, sur 2 650 voitures à voyageurs appartenant à toutes les catégories de chemins de fer et tramways, 17,8 0/0 n'ont aucun chauffage, 7,7 0/0 ont des bouillottes, 7,8 0/0 des poêles, 13,2 0/0 des systèmes à air chaud et 54 0/0 le chauffage à la vapeur. Sur ce même nombre de voitures, 8,3 0/0 sont éclairées à l'huile, 68,3 0/0 au pétrole, 15,9 0/0 au gaz et 7,5 0/0 à l'électricité.

Bacs à vapeur de la Mersey. — Jusqu'à l'ouverture du tunnel sous la Mersey, la Corporation de Birkenhead jouissait du monopole du transport entre cette ville et Liverpool, lequel s'effectuait au moyen de trois bacs à vapeur. Le trafic était énorme, 8 à 10 millions de passagers par an et le produit formait un chapitre très important du budget municipal. Ces bateaux étaient d'un type déjà ancien ; le plus remarquable, l'*Oxton*, construit déjà il y a une quinzaine d'années, était le premier exemple de l'emploi de quatre hélices. Il avait 40 *m* de longueur, 14 *m* de largeur et 4,30 *m* de creux, avec un tirant d'eau moyen de 2,30 *m*. Les hélices à pas en sens inverse avaient 2,20 *m* de diamètre et étaient commandées par deux paires de machines compound à pilon et à condensation par surface.

Ces bateaux étaient peu rapides et dépensaient beaucoup de combustible. L'ouverture du tunnel sous la Mersey a porté un coup terrible au trafic des bacs et les recettes sont tombées à un niveau très bas. La Corporation ne s'est pas découragée, elle a fait construire deux bateaux d'après les modèles les plus perfectionnés, lesquels opèrent le passage en quatre minutes seulement. Grâce à la rapidité et au confortable avec lequel le passage peut être opéré maintenant, la faveur du public est revenue aux bacs et la Corporation peut espérer voir renaître l'ancienne prospérité de son exploitation.

Ces bateaux ont 43 *m* de longueur entre perpendiculaires, 46 *m* de longueur totale, 9,65 *m* de largeur sur le pont, 8,50 *m* à la flottaison et

3,20 *m* de creux, ce qui donne 5,07 *m* pour rapport de la longueur à la largeur, le coefficient de déplacement est de 0,62.

La coque est en acier Siemens-Martin et est divisée en onze compartiments par des cloisons étanches. L'appareil moteur se compose de deux machines indépendantes à triple expansion actionnant des hélices jumelles de 2,30 *m* de diamètre. La vitesse moyenne constatée aux essais a été de 13 nœuds.

Le paquebot-poste belge *Marie-Henriette* (*complément*). — Au sujet des articles que nous avons donnés sur le paquebot *Marie-Henriette* dans nos Chroniques de juillet et août, notre éminent collègue, M. J. Kraft de la Saulx, veut bien nous écrire que nous lui avons attribué à tort la *Marie-Henriette* tout entière, et que ce qui concerne la coque doit être attribué à son collègue, M. Rickard, directeur du chantier d'Hoboken (Anvers) de la Société Cockerill.

M. Kraft a bien voulu en même temps envoyer à notre Société une brochure en français donnant la description complète avec illustrations du paquebot ; c'est d'après cette brochure, dont nous ne connaissions pas auparavant l'existence, qu'ont été rédigés les articles des journaux étrangers d'après lesquels nous avions fait nos notes des chroniques précitées.

En relisant ces notes, nous avons cru remarquer que la disposition de l'arbre moteur n'était pas assez claire pour faire bien comprendre l'arrangement ingénieux et nouveau de cet arbre. Nous pensons donc utile de revenir rapidement sur ce sujet.

A l'origine, on avait pensé à faire un arbre entièrement « composé » (ce que les Anglais appellent *built up*), soit fait en neuf parties, mais cela conduisait à une trop grande augmentation de poids et l'idée fut abandonnée. Quant à faire cet arbre d'une seule pièce, cela entrainait à de trop grandes difficultés. La grande presse à forger de Seraing n'était pas encore en marche et les aciéries les plus considérables du continent et d'Angleterre déclinaient les demandes ou demandaient des époques de livraison ou des prix inacceptables. Finalement on a fait l'arbre en cinq pièces, trois droites et deux coudées. Ces dernières, dont la forme rappelle grossièrement celle d'un fer à cheval, forment d'une seule pièce les deux bras et le bouton d'une manivelle. Les parties droites, qui constituent les arbres extérieurs et intermédiaire, sont emmanchées à force dans les trous des bras des manivelles.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUIN 1894.

État financier de la Société. — Rapport sur les comptes de l'exercice 1893.

Rapport de M. E. Sauvage sur **l'unification des filetages** et des jauges de tréfilerie.

Ce rapport reproduit avec quelques modifications les conclusions d'un rapport du même auteur donné dans le Bulletin d'avril dernier de la Société d'Encouragement et dont nous avons indiqué les parties les plus importantes dans nos comptes rendus de juin, page 779. Il est accompagné de tableaux relatifs à la construction des vis et aux jauges des fils métalliques.

Rapport de M. HIRSCH sur le **dynamomètre hydrostatique** de M. J. DIGEON.

Ce dynamomètre établi par notre collègue M. Digeon a pour objet de simplifier les opérations faites sur les ponts à bascule pour apprécier la répartition du poids des locomotives sur leurs diverses roues. A cet effet l'équilibration de chaque romaine est donnée, non plus par un contrepoids mobile, mais par un contrepoids fixe suspendu à l'extrémité du fléau et plongeant plus ou moins dans un liquide contenu dans une cuvette; le degré d'enfoncement du poids dans le liquide, lequel est proportionnel au déplacement du fléau est indiqué par une aiguille sur un cadran divisé. On a la répartition de la charge sur les diverses roues par une simple lecture et l'opération délicate du réglage s'en trouve grandement facilitée. Cet appareil a été appliqué par la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest.

Rapport de M. G. RICHARD sur le **foyer fumivore** de M. DULAC.

Le foyer fumivore de notre collègue M. Dulac n'est pas inconnu des membres de notre Société. Plusieurs d'entre eux en effet ont pu le voir fonctionner, sur l'invitation de l'inventeur, à l'usine municipale de Bercy.

Ce foyer comporte une grille à gradins inclinée dans laquelle la combustion s'opère en deux temps, d'abord par la combustion des gaz distillés de la houille pendant la première partie de sa descente sur la grille et ensuite par la combustion au bas du foyer du coke produit sur le haut et jusque sous le milieu de celle-ci. Ce principe n'est pas nouveau, mais, dans le foyer Dulac, il est réalisé par d'heureuses dispositions comprenant notamment des barreaux à circulation d'eau véritable-

ment pratiques. La conduite du foyer est en réalité fort simple et la fumivorité à peu près complète. A l'installation de Bercy dont nous parlons plus haut, l'économie réalisée sur le combustible permettrait d'économiser 8 000 *f* de charbon par année de 300 jours de travail, c'est-à-dire une somme bien supérieure au prix d'établissement de l'appareil qui n'est que de 3 500 *f*. D'ailleurs les dépenses d'entretien de ces foyers ne sont guère supérieures à celles des foyers ordinaires qu'ils ont remplacés.

En somme, le rapport de M. Richard représente le foyer Dulac comme réalisant un progrès notable dans l'importante question du chauffage économique et fumivore des chaudières à vapeur. Aussi la Société d'Encouragement a-t-elle récompensé les travaux de notre collègue en lui décernant le prix de 3 000 *f* relatif aux foyers industriels fumivores.

Rapport de M. Biver sur un nouvel **élévateur de liquides par l'air comprimé,** présenté par M. P. Kestner, ingénieur chimiste à Lille.

Cet appareil, qui fonctionne d'une manière économique et donne un rendement presque théorique en diminuant notablement les pertes d'air, a pour principe l'emploi d'un flotteur en forme de cloche muni à l'intérieur d'une soupape qui commande l'accès de l'air comprimé. Ces appareils peuvent servir pour l'acide sulfurique et pour l'acide muriatique.

Rapport de M. Davanne sur **le papier photographique, dit papier velours,** de M. Artigues.

Rapport de M. E. Gruner sur **l'ouvrage de M. Marius Vachon** intitulé **Exposition industrielle et artistique de Saint-Étienne.**

Note sur la photographie des couleurs par la méthode interférentielle de M. G. Lippmann, par MM. Lumière frères.

Cette note rappelle d'abord le principe de la découverte de M. le professeur Lippmann qui réside dans la fixation, par la lumière même, de franges d'interférence dans une couche sensible photographique. Les conditions à réaliser pour développer pratiquement la méthode basée sur ce principe peuvent se résumer : 1° par l'obtention de couches sensibles absolument transparentes ; 2° par la réalisation d'un orthochromatisme aussi voisin que possible de la perfection.

MM. Lumière frères se sont attachés à la réalisation de ces deux conditions et ont obtenu des résultats remarquables que la Société d'Encouragement a pu apprécier sous la forme des épreuves qui lui ont été soumises dans la séance du 22 décembre 1893.

Juillet 1894

Séance générale du 22 juin 1894. — Distribution des récompenses.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

JUIN 1894

Notice biographique sur M. Mille, inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. BECHMANN, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Note sur les **épreuves par charge roulante** et l'action des chocs, par M. DESLANDRES, Ingénieur des ponts et chaussées.

L'auteur part de ce point de vue, que les épreuves par charge roulante, dans les conditions où elles se font actuellement, laissent au hasard un rôle trop considérable parce qu'il y intervient des circonstances fortuites, telles que état de la voie ou de la chaussée, etc., qui ont une influence considérable, et qu'elles ne se font pas suivant une méthode véritablement rationnelle.

L'épreuve véritablement rationnelle d'une travée métallique consisterait, après avoir soumis cette travée à l'action de la charge d'épreuve statique, à produire en un point convenablement choisi, le choc défini le plus considérable que la travée pourrait jamais avoir à subir, puisqu'on doit considérer les efforts supplémentaires qui se produisent pendant les épreuves à charge roulante comme occasionnés par des chocs. L'épreuve ainsi conçu devrait avoir lieu au droit de chaque entretoise, mais, si on voulait procéder d'une manière plus expéditive, on pourrait se contenter de produire l'épreuve par choc au droit de l'entretoise centrale.

La note entre dans l'examen de différents chocs auxquels peuvent se trouver exposées les travées métalliques, et donne une formule qui permet de calculer la flèche que prend une travée soumise à l'action d'un choc défini. Elle insiste, en terminant, sur l'action très énergique des chocs sur les éléments les plus rapprochés des points choqués, chocs qui développent des efforts dépassant dans une proportion considérable les efforts maxima qui peuvent se produire sous l'action de charges statiques donnant lieu aux mêmes flèches.

Mémoires sur le **calcul des poutres droites à travées solidaires,** par M. DAUJON, Ingénieur des ponts et chaussées.

Le mode de calcul dont il est question dans ce mémoire repose sur la considération des lignes d'influence dont la théorie a été donnée en France, surtout par M. Maurice Lévy et par notre collègue M. Bertrand de Fontviolant, il s'inspire, en outre, de la méthode exposée par M. Jean Resal, au sujet des arcs métalliques. Il ne vise pas d'ailleurs à abréger les opérations toujours longues du calcul des poutres à travées solidaires, mais seulement à procurer un moyen facile et suffisamment rigoureux de tenir compte de la répartition réelle des charges, et est en

outre d'une grande simplicité. Nous ne saurions entrer dans le détail de cette méthode et nous contenterons de renvoyer au mémoire ceux de nos collègues que la question intéresserait.

Note sur la **scie circulaire à lame diamantée,** par M. Jozan, Ingénieur des ponts et chaussées.

Cette scie circulaire, installée depuis deux ans aux carrières d'Euville (Meuse), par M. Jacquin, Ingénieur des arts et manufactures, a donné d'excellents résultats pour le sciage de la pierre. Elle donne dix fois plus de travail que le fil sans fin fonctionnant avec arrosage de grès pilé employé auparavant et demande moins d'entretien.

Le plateau de la scie a 2,20 *m* de diamètre, et 7 *mm* d'épaisseur. Les diamants sont montés sur la circonférence, à une distance de 0,04 *m* les uns des autres, et dans des positions différentes qui se reproduisent par série de huit; il y en a 150 en tout. Les diamants sont enchâssés à chaud dans des blocs d'acier, lesquels sont assemblés à vis avec le plateau. Un disque tout armé revient à 3500 *f*, et l'installation complète à 6 000 ou 8 000 *f*. Le plateau tourne à 300 tours par minute; on arrose simplement avec de l'eau, il faut un travail de 20 *ch* et l'avancement est de 0,40 *m* par minute sur 0,90 *m* de hauteur, soit une surface de sciage de 0,46 m^2 sur deux faces. La scie fonctionne depuis 28 mois et a déjà scié 42 000 m^2 sur deux faces. Il a fallu remplacer 19 porte-diamants à 10 *f* chaque, soit 190 *f*, dépense à peu près insignifiante.

Épreuve jusqu'à la rupture du pont de Wohlhusen (ligne du Jura Simplon), par M. Ed. Collignon, Inspecteur général des ponts et chaussées.

Cette question a été traitée dans la séance du 4 mai dernier de notre Société (Voir *Bulletin* de mai, page 531).

ANNALES DES MINES

Septième livraison de 1894.

Étude théorique et pratique des locomotives compound, par M. Nadal, Ingénieur des mines.

Cette étude constitue en quelque sorte la suite d'un travail du même auteur publié sous le titre : *Étude théorique sur le rendement réel des machines à vapeur*, application aux locomotives, dans la 6e livraison de 1893 des *Annales des Mines* et dont nous avons rendu compte dans le *Bulletin* d'août 1893, page 239 et suivantes.

Ce nouveau mémoire est très important et intéressant surtout en ce qu'il constitue probablement la première étude d'ensemble parue en France, sur la question du calcul des éléments des locomotives compound. Il est bon de dire toutefois que, malgré le titre qui lui a été

donné, il ne sort guère du domaine purement théorique. De plus, l'auteur s'est borné à l'étude de certains types de machines qui, tout remarquables et intéressants qu'ils puissent être, sont loin d'être les plus répandus, de sorte que les conclusions qui terminent le mémoire pourraient difficilement être acceptées comme générales.

Le mémoire part de ce point de vue, que si l'expérience a démontré que le système compound est avantageux, on n'a pu jusqu'ici préciser bien nettement les motifs et l'étendue de cette supériorité. On peut y arriver en appliquant à l'étude des locomotives compound, la théorie mathématique exposée par l'auteur dans le précédent travail que nous venons d'indiquer.

M. Nadal prend pour exemple le type de machines à grande vitesse et à 4 cylindres du Nord, dû à l'initiative de l'éminent président actuel de notre Société, M. du Bousquet et construit théoriquement les diagrammes du travail de la vapeur dans les deux jeux de cylindres.

Dans un second chapitre, il étudie, par les méthodes précédemment indiquées, le refroidissement extérieur et les échanges de chaleur entre la vapeur et les parois métalliques des cylindres. Ces considérations conduisent dans un troisième chapitre à l'étude de la dépense de vapeur d'une machine compound. On trouvera dans cette partie, traitée avec détails, la question intéressante de la pression au réservoir intermédiaire et de ses variations. La consommation de vapeur aux diverses allures est également considérée et l'auteur, en rapprochant le résultat de ses calculs d'une expérience directe, conclut à l'exactitude de sa méthode à 2 0/0 près. Il serait intéressant de voir cette vérification s'opérer sur plus d'un exemple et sur divers types de machines. Un quatrième chapitre est consacré à des considérations générales sur les machines compound ; on y trouve traitée la question capitale des distributions dans les deux groupes de cylindres, celle des pertes de pression entre ces deux groupes, l'influence du rapport de volume des cylindres sur le rendement, etc.

Un cinquième chapitre étudie les effets de l'inertie des pièces en mouvement relatif dans les machines compound, le calage des manivelles et les conditions d'équilibre avec les divers calages.

Les conclusions sont que les locomotives compound sont seules capables de donner, à la fois, une économie notable et une grande augmentation de puissance. Elles sont plus compliquées et les frais d'établissement plus élevés, mais, malgré cela, les dépenses d'entretien et de graissage ne doivent finalement être que peu augmentées. Elles sont, il est vrai, inférieures aux machines ordinaires toutes les fois qu'on peut faire avec un seul jeu de cylindres une détente à peu près complète (ce qui exige une pression peu élevée relativement et des cylindres assez grands). Enfin, les locomotives compound sont plus difficiles à construire et nécessitent un personnel de choix, sinon elles ne donnent que de médiocres résultats.

Nous croyons que certaines de ces conclusions sont très difficilement acceptables d'une manière générale. Elles peuvent être vraies pour certains cas, mais sont totalement inexactes dans d'autres. Cela tient à ce que l'auteur a eu uniquement en vue un type déterminé de locomotives compound auquel s'appliquent les considérations données dans le mé-

moire. Dire, par exemple, que des locomotives compound à deux cylindres du type le plus répandu, dont il existe dans le monde plus de 2 000 à l'heure actuelle, sont plus compliquées, plus coûteuses et plus difficiles à conduire que des locomotives ordinaires, serait mal aisé à soutenir. Le succès obtenu par ces machines sur des lignes secondaires et dans des pays tels que l'Amérique du Sud, où on ne dispose généralement pas d'un personnel de choix, en est une preuve concluante. Nous nous permettrons également d'émettre le regret que l'auteur ne paraisse pas avoir eu connaissance des travaux analogues au sien et très remarquables, publiés depuis quelques années en Allemagne sur cette question et parus notamment dans l'*Organ*. La lecture de ces travaux l'auraient probablement engagé à donner à son étude un caractère plus général. Ces réserves ne nous empêchent nullement de rendre toute justice à la valeur et à l'intérêt du mémoire de M. Nadal et de le recommander à l'attention de ceux de nos collègues que cette question intéresse.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de Juillet 1894

Observations sur les ressorts d'indicateurs et détermination de l'influence de la température sur leur échelle.

Cette note fait partie des travaux d'intérêt général de l'Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Elle entre d'abord dans quelques considérations sur le tarage et la vérification des ressorts à froid et discute l'influence de la température sur l'exactitude de leurs indications. La conclusion est que, dans la pratique courante, il suffit de tarer les ressorts à froid, l'erreur qui en résulte dans la détermination du travail ne pouvant guère dépasser 1 1/2 à 2 0/0.

Note sur la **fabrication de l'orthonitraniline** $C_6H_4 < \begin{matrix} NH_2 \ (1) \\ NO_2 \ (2) \end{matrix}$ par M. Jos. Pokorny.

Note sur l'**emploi des sels ammoniacaux pour réserver la soude caustique**, l'aluminate, le stannate, le chromite de soude, etc., par M. Ernest Bontemps.

Résumé des **observations météorologiques** faites à la Société industrielle de Mulhouse pendant l'année 1893, par M. A. Sack.

Bulletin d'Aout-Septembre 1894

La crise de l'argent et ses conséquences. — Conférence faite à la Société industrielle, dans sa séance du 25 avril 1894, par M. Ernest Zuber.

Cette conférence sur ce sujet d'actualité traite, avec une grande autorité, les questions de la circulation monétaire et fiduciaire dans les divers

pays, de la production de l'argent, du double étalon, etc. Les conclusions de l'auteur sont que l'argent doit être considéré dorénavant comme une marchandise précieuse devant trouver dans l'industrie son principal emploi et soumise à autant de fluctuations de prix que tout autre produit. Sa valeur moyenne se maintiendra très probablement au-dessous de 145 *f* le kilogramme.

Rapport de M. E. Lanhoffer sur un **moteur électrique à vitesse variable** proposé par M. A. de Montmollin.

Note sur l'**orangé-tannin,** par M. Camille Schoen.

Rapport de M. Camille de Lacroix sur les titres d'un mémoire concourant au prix nº II. **(Maisons ouvrières à logements indépendants.)**

Ce type de maisons à logements indépendants est bien étudié et présente des dispositions intéressantes. Il revient à 94 *f* le mètre couvert, mais l'emploi proposé d'une toiture en *holzcement* soulève de graves objections à cause du peu d'imperméabilité au chaud et au froid et des dangers d'incendie. Pour ces raisons et quelques autres, le rapporteur ne croit pas devoir proposer ce projet pour le prix.

Rapport de M. Ed. Doll sur un mémoire concourant au prix IV. **(Engins contre les incendies.)**

Ce mémoire présente, d'une façon claire et intéressante, une foule de faits et de données sur les mesures préventives contre les incendies. Malgré la valeur réelle de l'ouvrage, le Comité ne peut le considérer comme rentrant dans le cadre du *Bulletin de la Société industrielle.*

Rapport de M. Benner sur un travail concourant au prix III **(ouvrage sur les cryptogames).** Le rapport conclut à faire décerner à l'auteur une médaile d'argent.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS NÉERLANDAIS (1)

Livraison du 7 juin 1894

Séance du 12 août.

Communication de M. van Liebergen sur le déplacement latéral d'un remblai de chemin de fer. Cet accident s'est produit en septembre 1893, entre Maestrich et Venloo sur une longueur de 75 *m*. Le remblai avait 7 *m* de hauteur et s'appuyait contre le flanc d'une colline. La cause a été l'écoulement imparfait des eaux qui s'accumulaient en amont, alors que le corps du remblai reposait en partie sur une matière qui, sous

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

l'action de l'eau, se transformait en sable mouvant. L'auteur expose d'abord les conditions géologiques, puis décrit les circonstances où l'accident s'est produit et termine par la reconstruction de l'ouvrage.

Communication de M. Huet, sur une pompe à incendie qui existe dans la ville de Deventer. Cette pompe a été construite par l'inventeur de ces engins, Jan van der Heyden, à Amsterdam en 1690, et est encore aujourd'hui en service. La communication est accompagnée d'un dessin de la pompe.

Livraison du 21 juin 1894

Rapport de M. Schroeder van der Kolk sur les épreuves de deux ponts de chemins de fer, près d'Utrecht. Ce rapport est accompagné de nombreux dessins et tableaux et de considérations théoriques sur les résultats des épreuves.

Livraison du 5 septembre 1894

Séance du 14 juin.

Communication de M. Huet sur un nouveau projet de dessèchement du Zuiderzée, dressé par lui. Alors que le projet actuellement à l'étude exige qu'on commence les travaux par la construction d'une digue destinée à isoler les eaux du Zuiderzée des eaux extérieures, M. Huet commence par établir les digues de polder proprement dites; il n'élève ces digues qu'à la hauteur des hautes eaux ordinaires et admet la submersion des polders par les hautes eaux extraordinaires. De la sorte, les terrains seraient fertilisés par le limon de la mer; on obtient des résultats immédiatement et on supprime les risques et les pertes d'intérêt inévitables avec la construction de la grande digue transversale.

Communication de M. Schroeder van der Kolk sur les épreuves périodiques des ponts de chemins de fer, telles qu'elles sont faites actuellement dans les Pays-Bas par un service organisé spécialement.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 31. — *4 août 1894.*

Installation de bains populaires à Berlin-Moabit.

Locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite).*

Appareils de changements de voie et signaux à l'Exposition universelle de Chicago en 1893, par H. Heimann *(suite).*

Tracé des aubes dans les turbines axiales, par Antonio Bravo.

Groupe de Brunswick. — Extraction de l'alcool par la distillation.

Groupe du Palatinat Saarbruck. — Matériel de chemin de fer avec attelage direct sur les bogies.

Groupe de Thuringe. — Fabrication du chocolat.

Bibliographie. — Rapport de Anton de Korpelys sur les progrès techniques de l'industrie métallurgique en 1890-91, par le Dr H. Wedding.

Variétés. — Réunion générale de l'Association des métallurgistes allemands, à Dusseldorf, le 15 juillet 1894. — Fabrication des tuyaux soudés en spirale. — Nouveau laminoir pour la fabrication des chaînes sans soudure.

N° 32. — *11 août 1894.*

L'industrie du fer aux États-Unis, par F. Kintzle.

Projet de nouvelles installations maritimes à Stettin, par Benduhn.

Groupe de Francfort. — Éclairage et chauffage par le gaz.

Groupe du Rhin inférieur. — Procédés de désincrustation des chaudières. — Analyse du gaz. — Accident à une chaudière à vapeur. — Captage d'une source.

Groupe de Wurtemberg. — Travaux de distribution d'eau à Stuttgard.

Variétés. — 23e assemblée générale des délégués et ingénieurs des Sociétés de surveillance des chaudières. — Réunion générale de l'Association des métallurgistes allemands, à Dusseldorf, le 15 juillet 1894. — Injection des bois à la créosote.

N° 33. — *18 août 1894.*

Concours pour la construction d'un pont sur le Danube, à Budapest, par A. Zschetzsche.

L'industrie du fer aux États-Unis, par F. Kintzle *(suite)*.

Groupe de Chemnitz. — Voiture de tramway à traction électrique. — Barrage et élévation d'eau à Einsisdel.

Groupe de Saxe. — Tour de Pittler. — Silos et élévateur à grains à Copenhague. — Soudure par l'électricité.

N° 34. — *25 août 1894.*

Régulateur à pendule oscillant.

L'industrie du fer aux États-Unis, par F. Kintzle *(fin)*.

Locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite)*.

Groupe de la Ruhr. — Travail de la vapeur dans le cylindre des machines et condensation initiale.

Variétés. — Appareils de sûreté à bouchon fusible pour l'abaissement du niveau d'eau dans les chaudières. — Association allemande d'hygiène publique.

N° 35. — *1er septembre 1894.*

Concours pour la construction d'un pont sur le Danube, à Budapest *(suite)*.

Calcul des dimensions des constructions métalliques, par H. Gerber.

Coût d'établissement et de service des installations hydrauliques, par A. Rudolf.

Groupe de Westphalie. — Tramway électrique de Dortmund.

Bibliographie. — Recherches calorimétriques sur les moteurs à gaz, par Slaby.

Correspondance. — Concours pour la construction d'un pont sur le Danube, à Budapest.

Variétés. — Tramways électriques à conducteur aérien.

N° 36. — *8 septembre 1894.*

Installations de chauffage et de ventilation des *United Charities Buildings*, à New-York, par E. Schisle.

Calcul des dimensions des constructions métalliques par H. Gerber *(suite)*.

Guidage et régularisation de la course, pour appareils de mise à sec des navires avec flotteurs, par A. Wohler.

Nouveautés dans la question des appareils à voler, par A. Ritter.

Fondations pneumatiques des piles d'un pont tournant sur le Canal de la mer du Nord à la Baltique.

Machines à raboter verticales et horizontales.

Groupe de Cologne. — Expériences sur le soudage électrique par les procédés Thomson et Lagrange et Hoho. — Le carborundum. — Production des sels de soude et de chaux dans l'Allemagne centrale.

Bibliographie. — Manuel des sciences de l'Ingénieur, I et II. — Questions relatives aux eaux dans les villes, par A. Fruhling et F. Lincke. — Tissage mécanique par E.-R. Lembeke.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 20442-10-94. — (Encre Lorilleux).

11° *Condensation des machines à vapeur à différentes températures* (Expériences sur la), par M. Ch. Compère. (Séance du 19 octobre), page 473;

12° *Aluminium dans les constructions navales* (Emploi de l'), par M. G.-J. Hart, et observations de M. P. Jannettaz et L. Rey. (Séance du 19 octobre), p. 475.

Mémoires contenus dans le Bulletin d'octobre 1894 :

13° *Loi sur les brevets d'invention en Danemark*, par M. Ch. Casalonga, page 481;

14° *Étude économique et juridique sur les grèves*, par M. G. Féolde, page 487;

15° *Calcul des plaques élastiques minces et le rôle des tirants dans les poutres en ciment armées*, par M. F. Chaudy, page 545;

16° *Expériences sur la condensation des machines à vapeur à différentes températures*, par M. Ch. Compère, page 551;

17° *Chronique* n° 178, par M. A. Mallet, page 560;

18° *Comptes rendus*, — page 571;

19° *Planche* n° 122.

Pendant le mois d'octobre 1894, la Société a reçu :

34020 — De M. A. Bergès (M. de la S.). *Exposition universelle internationale de Lyon, 1894. La houille blanche. Démonstration des grandes forces hydrauliques existant en France, par l'exemple de Lancey (Isère)* (une feuille in-4° de 7 p.). Lyon, Desmard et Fournand, 1894.

34021 — De M. J. Rey. *Sur la mesure du rendement industriel d'un moteur électrique de 720 chevaux* (grand in-8° de 11 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

34022 — De la « South African Association of Engineers and Architects ». *Second annual Report, 1894.* Johannesburg, 1894.

34023 à 34025 — De l'Association Lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur. *Exercices 1891, 1892 et 1893.* Lyon, A. Storck.

34026 — De l'Institution of Civil Engineers. *Minutes of Proceedings. Vol. CXVII. 1893-1894. Part III.* London, 1894.

34027 34028 — De l'American Institute of Mining Engineers. *Transactions. Vol. XXII et XXIII, 1894.* New York City, 1894.

34029 — De M. C. Pierron (M. de la S.). *Notes et documents sur l'Exposition universelle de Chicago présentés à la Société Industrielle de Mulhouse* (grand in-8° de 65 p. avec 5 pl.). Mulhouse, V[e] Bader et C[ie], 1894.

34030 — De M. Somzée (M. de la S.). *Voie de communication sous-marine entre l'Angleterre et la France* (in-8° de 12 p. avec 1 pl.). Bruxelles, 1878.

34031 — De la Société académique du département de l'Aube. *Mémoires. Tome LVII. Année 1893.* Troyes, Paul Nouel, 1893.

34032 — De M. H. Chapman (M. de la S.). *The Testings of Hydraulic Cements,* by W. Harry Stanger and Bertram Blount (petit in-8° de 31 p.). London, 1894.

34033 — De M. J.-S. Jeans. *The Eight Hours' Day in British Engineering Industries* (in-12 de 60 p.). London, 1894.

34034 — De M. G.-R. Neilson. *Télégraphes pour signalement d'incendies. Téléphones à haute voix, etc. Brochure descriptive* (in-12 de 10 p.). Londres, 1894.

34035 — De l'American Institute of Mining Engineers. *Transactions:*
34036 *Vol. XXII. Being Part I of the Proceedings, Papers and Discussions of the Chicago Meeting of 1893, Constituting Divisions C and D of the International Engineering Congress; Vol. XXIII. Being Part II.* New York City, 1894.

34037 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Fabrication de la fonte,* par E. de Billy. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

34038 — De MM. Muller et Roger (M. de la S.). *Album des appareils spéciaux brevetés* (in-4° de 120 p.). Paris, J. Céas et fils, 1893.

34039 — Des mêmes (M. de la S.). *Album des robinets et accessoires de distribution d'eau* (petit in-4° de 164 p.). Paris, J. Céas et fils, 1894.

34040 — Des mêmes (M. de la S.). *Album des appareils accessoires des chaudières et machines à vapeur* (petit in-4° de 202 p.). Paris, J. Céas et fils, 1894.

34041 — De l'Iron and Steel Institute. *The Journal of the Iron and Steel Institute. N° 1. 1894.* (Vol. XLV). London, 1894.

34042 — De l'École Nationale des Ponts et Chaussées. *Collections de dessins distribués aux Élèves. Légendes explicatives des planches. Tome III. 8e fascicule. 25e livraison, 1893.* Paris, Imprimerie nationale, 1893.

34043 — De la même. *Documents sur les fermes métalliques à grande ouverture. Fascicule supplémentaire, 1893.* Paris, Imprimerie nationale, 1893.

34044 — De MM. Muller et Roger (M. de la S.). *Historique et Institutions de prévoyance* (grand in-8° de 103 p.). Paris, Chamerot et Renouard, 1894.

34045 — Du Ministère des Colonies. *Notices coloniales publiées sous le patronage de M. Delcassé, ministre des Colonies, à l'occasion de l'Exposition universelle internationale et coloniale de Lyon, 1894,* par F. Blum (grand in-8° de 147-LVIII p.). Melun, Imprimerie administrative, 1894.

34046 — De M. L. Baclé (M. de la S.). *Les plaques de blindage en métal cémenté. Essais pratiqués en France et à l'Étranger, de 1892 à 1894* (grand in-8° de 26 p., avec 4 tableaux). Paris, Génie Civil, 1894.

34047 — De la Direction générale des Douanes. *Tableau général des mouvements du cabotage pendant l'année 1893.* Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34048 et 34049 — De MM. E. Bernard et Cie. *Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1894 : 5e Partie. Les Arts militaires aux États-Unis et à l'Exposition de Chicago* (grand in-8° de 278 p. avec atlas grand in-4° de 140 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

34050 — Du Ministère des Travaux Publics. *Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1892 : Documents divers. 1re Partie. France. Intérêt général.* Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34051 — *République Française. Exposition universelle d'Anvers, 1894. France, Algérie, Colonies et Pays de Protectorat. Catalogue officiel,* par le Commissariat général. Paris, Imprimerie de la Presse, 1894.

34052 — De la Société des Grands Annuaires. *Grand Annuaire de la construction mécanique, des travaux publics, de l'électricité et de la métallurgie,* 1894, par E. Monod. Paris, Société des Grands Annuaires, 1894.

34053 — De M. F. Kreuter. *Berechnung der Staumauern* (in-4° de 12 p.). Berlin, Wilhem Ernst und Sohn, 1894.

34054 — De M. L. Vossion. *Memorial Service in Honor of President Sadi-Carnot. Held under the Auspices of the Association Nationale Française, at Musical Fund Hall, Philadelphia, Saturday Evening, June 30 th, 1894* (in-12 de 29 p.). Philadelphia, 1894.

34055 et 34056 — De M. E. Polonceau (M. de la S.). *Les nouvelles machines à vapeur à l'Exposition universelle de 1889* (grand in-8° de 135 p. avec atlas grand in-4° de 98 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

34057 — De M. Ch. Gibault (M. de la S.). *Album des tuyaux courants et spéciaux et appareils brevetés* (in-4° de 72 p.). Paris, J. Céas et fils, 1893.

34058 — De la « Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. Polytechnischen Schule in Zurich ». *XXV. Adressverzeichniss der Mitglieder, 1894.* Zürich, 1894.

34059 et 34060 — De M. F. Paponot (M. de la S.). *Canal interocéanique de Panama : 1re Partie. Description sommaire ; 2e Partie. Historique et pièces justificatives, Plans et profils* (grand in-8° de 53 p. et de 156 p.). Paris, Baudry et Cie, 1894.

34061 — De M. Carl Heymanns. *Repertorium der Technischen Journal Litteratur. Jahrgang, 1893.* Herausgegeben von Dr Rieth. Berlin, 1894.

34062 — De M. Ch. Baudry (M. de la S.). *Étude expérimentale de la vaporisation dans les chaudières de locomotives faite dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée,* par A. Henry (in-8° de 116 p. avec 11 pl.). Paris, Ve Dunod et P. Vicq, 1894.

34063 et 34064 — Du Ministère des Travaux Publics. *Statistique de la navigation intérieure. Année 1893, 1er et 2e volumes*, par la Direction des routes, de la navigation et des mines. Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34065 — De M. R.-H. Thurston (M. de la S.). *The Graphics of the Efficiencies of the Steam Boiler* (in-8° de 14 p.). Philadelphia, 1894.

34066 — De l'Association Parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur. *Compte rendu des séances du 17e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur, tenu à Paris en 1893*. Nancy, Berger-Levrault, 1894.

34067 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Fortification*, par le Colonel Hennebert (petit in-8° de 222 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

34068 — Des mêmes. *Régularisation des moteurs des machines électriques*, par P. Minel (petit in-8° de 192 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

34069 — De M. E. Cheysson. *Le musée social. Communication faite à Lyon, au 8e Congrès des Sociétés coopératives de consommation, dans sa séance d'ouverture, le 26 août 1894* (in-4° de 12 p.). Paris, Imprimerie nouvelle, 1894.

34070 — Du même. *Société du Musée social : I. Décret du 31 août 1894 ; II. Statuts; III. Procès-verbaux des séances du Comité de Direction* (in-4° de 16 p.). Paris, Imprimerie nouvelle, 1894.

34071 — De M. le Baron Quinette de Rochemont. *Paris port de mer. Commission de la Chambre des députés chargée d'examiner la proposition de loi. Déposition* (in-8° de 37 p.). Paris, Chamerot et Renouard, 1894.

34072 — De M. Th. Michaëlis (M. de la S.). *Spoorweg door Rotterdam* (in-8° de 64 p. avec 8 pl.). S' Gravenhage, 1894.

34073 — De M. W. Dierman (M. de la S.). *Note sur le calcul des lignes aériennes de tramways électriques* (in-8° de 46 p.). Liège, G. Thiriart, 1894.

34074 — De M. L.-F. Vernon-Harcourt. *The Training Rivers*, by L.-F. Vernon-Harcourt, *and Estuaries*, by H.-L. Partiot (in-8° de 202 p. et 4 pl.). London, 1894.

34075 — Du Ministère des Travaux Publics. *Statistique des chemins de fer Français au 31 décembre 1892 : 2e Partie. France. Intérêt local. Algérie et Tunisie*. Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34076 — De M. James Forrest. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. CXVIII. Part. IV. 1893-94*. London, 1894.

34077 — Du même. *Brief Subject-Index. Vols. LIX to CXVIII. Sessions 1879-80 to 1893-94*. London, 1894.

34078 — De la Chambre de Commerce de Dunkerque. *Recueil des procès-verbaux des séances. Année 1893*. Dunkerque, P., Michel, 1894.

34079 à 34082 — De M. Schwendner (M. de la S.). *4 brochures relatives aux irrigations à l'eau d'égout de la ville d'Odessa.* (3 en Russe.) Odessa, 1893 et 1894.

34083 — De la Revista Minera Metalúrgica y de Ingenieria. *Annuario de las Minas y Fábricas Metalúrgicas de España. Año primero, 1894.* Madrid, 1894.

34084 à 34086 — De M. J. Miffre. *3 brochures sur l'Action éloignée* (in-4° de 4 p., 10 p. et 36 p.). Paris, E. Bernard et Cie, 1893 et 1894.

34087 — De M. Th. de Kossuth (M. de la S.). *Note sur le réchauffage des cylindres des locomotives par la circulation des gaz chauds, système Kossuth* (in-4° de 15 p. avec 2 pl.). Naples, 1894.

34088 — De M. Kraft de la Saulx (M. de la S.). *Le paquebot belge « Marie-Henriette » construit par la Société anonyme John Cockerill, Seraing, Belgique* (in-4° de 22 p. avec 2 pl.). Berlin, 1894.

34089 — Du Ministère des Travaux Publics. *Études des moyens mécaniques et électriques de traction des bateaux : 1re Partie. Halage funiculaire, Tome I,* par MM. Lévy et G. Pavie (in-4° de 253 p. avec 54 pl.). Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34090 — De M. E. Blaise (M. de la S.). *Étude sur la protection du Travail industriel,* par Blaise et Salmin. Rouen, L. Gy, 1894.

34091 — De l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise. *Bulletin de l'exercice 1893.* Amiens, T. Jeunet, 1894.

34092 — De M. F. P. Rispoli. *Distribuzione di precisione a scatto. Ricerche sul diagramma polare* (in-8° de 13 p. avec 1 pl.). Napoli, 1894.

34093 — De MM. L. Appert et J. Henrivaux (M. de la S.). *La verrerie depuis vingt ans* (in-8° de 145 p.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

34094 — Des mêmes (M. de la S.). *Verre et verrerie* (grand in-8° de 460 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

34095 — De M. J. Ladame. *Traversée du Simplon. Projet de tunnel à une voie et de 19 731* m *de long présenté par la Compagnie du Jura-Simplon. Lettre critique* (in-8° de 15 p. avec 2 pl.). Paris, Baudry et Cie, 1894.

34096 — De M. F. R. Rispoli. *La forza motrice in Napoli* (in-8° de 46 p.). Napoli, 1894.

34097 — De M. P. Arbel (M. de la S.). *Exposition internationale de Chicago en 1893. Comité 12. Mines, Exploitation des mines et métallurgie. Minerais de soufre. Rapport de M. P. Arbel* (grand in-8° de 108 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1894.

34098 — Du même (M. de la S.). *Rapport sur l'Exposition de Chicago concernant la métallurgie, les mines, la quincaillerie, l'armurerie, la verrerie et les industries diverses* (in-8° de 100 p.). Saint-Étienne, Théolier et Cie, 1894.

34099 — De M. G. Richard (M. de la S.). *L'éclairage à Paris,* par H. Maréchal (grand in-8° de 496 p. avec 211 figures dans le texte). Paris, Baudry et Cie, 1894.

Les Membres nouvellement admis pendant le mois d'octobre 1894, sont :

Comme Membres sociétaires, MM.

J.-F.-F. Chameroy,	présenté par MM.	Centner, Lantz, de Singly.
E.-M. Van Diest,	—	Casalonga, de Dax, Bruckert.
E. Duchesne,	—	Claparède, Viterbo, de Tédesco.
M. Paré,	—	Desroziers, A. Mallet, Raffard.
F. Rahola-Puignau,	—	Litschfousse, Grébus, de Séprès.

Comme Membre associé M.

A. Clavel, présenté par MM. Sautter, Gandillot, Bonna.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'OCTOBRE 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 5 OCTOBRE 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de plusieurs de nos Collègues :

M. Burle (Félix), membre de la Société depuis 1881 ; a été Chef de Section à la Compagnie des Chemins de fer d'Angoulême à Marmande, puis Chef des études à la Société Générale des Chemins de fer économiques ;

M. Holtzer (Louis), membre de la Société depuis 1888 ; a été Ingénieur Civil des mines, Directeur des Aciéries Jacob Holtzer, et maire d'Unieux (Loire) ;

M. Sauvan-Deleuze (Louis), membre de la Société depuis 1866 ; a été Ingénieur de la maison Vitali, Picard et Cie.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que :

M. Cacheux (Émile) a été nommé officier de l'Instruction publique, et MM. Girard (H.-J.) et Masson (Pierre), officiers d'Académie.

M. Pillet (Jules-François) dépose un pli cacheté.

M. le Président signale parmi les ouvrages reçus, les *Comptes rendus du Congrès du Génie Civil à l'Exposition de Chicago.*

La parole est à M. J. Fleury, pour sa communication sur le *VIe Congrès international de navigation intérieure, tenu à la Haye en 1894.*

M. J. Fleury n'essaiera pas de parler de la Hollande, après ce qu'en a dit M. É. Lippmann dans son mémoire couronné par la Société, il y a trois ans ; tous les membres qui avaient pris part à l'excursion faite à cette époque ont sans doute conservé le souvenir de leurs impressions et de l'accueil qu'ils avaient reçu de nos collègues néerlandais.

Cette année un grand nombre de membres de la Société ont participé au Congrès de la Haye, et non seulement de ceux qui s'adonnent par profession aux travaux de canalisation comme MM. Couvreux, Coiseau, de Bovet, mais d'autres qu'avaient amenés le double intérêt du voyage et des communications qui devaient être présentées.

Comme dans les Congrès précédents, la délégation officielle envoyée par le Gouvernement était assez nombreuse; elle était composée d'Ingénieurs des Ponts et Chaussées, tous employés dans les services de navigation, auteurs de travaux importants exécutés dans notre pays, et qui ont apporté au Congrès un concours précieux.

A eux s'étaient joints, comme délégués officiels, des membres de la Chambre de Commerce de Paris, ainsi que cela avait déjà eu lieu au Congrès de Manchester.

Les autres nations de l'Europe étaient également représentées. L'Italie avait envoyé le commandeur Betocchi, membre honoraire de la Société; d'Autriche étaient venus le député V. W. Rüss, M. Fanner, Directeur des travaux du Danube à Vienne, et notre sympathique collègue, le chevalier de Goldschmit; parmi les membres russes étaient M. Ghercévanof et M. de Timonoff, tous deux aussi nos Collègues.

M. Vernon-Harcourt, assidu à tous les Congrès, n'avait pas manqué de se rendre à la Haye.

L'Allemagne était représentée par des hommes qui y occupent une grande situation : M. Honssel, Directeur des travaux du grand-duché de Bade; M. Pescheck, Ingénieur en chef à Magdebourg, et beaucoup d'autres.

M. Fleury regrette qu'il lui faille renoncer à citer les noms de tous les Ingénieurs hollandais qui ont fait aux membres étrangers les honneurs de leur pays avec une si charmante cordialité. Beaucoup d'entre eux sont déjà connus des membres de la Société : M. Conrad, qui a été l'âme du Congrès; M. de Jongh, de Rotterdam; M. Schurrmann, d'Amsterdam; M. L.-E. Asser, l'actif et obligeant secrétaire général dont le concours était rendu plus précieux par sa parfaite connaissance des diverses langues européennes; M. Deking-Dura, Ingénieur en chef de la province d'Over-Yssel; M. de Vriès, Ingénieur de la Frise.

Il faudrait citer également nos Collègues de la Société dont l'accueil a été particulièrement cordial, M. de Koning entre autres, dont M. Fleury est heureux d'apporter les souvenirs amicaux à tous ceux qui sont allés précédemment en Hollande.

Une mention spéciale doit être faite des hautes personnalités politiques des Pays-Bas, qui avaient pris le Congrès sous leur patronage et dont les noms inscrits sous celui de S. M. la Reine Régente, constituaient le Comité d'honneur. Le Congrès était fort nombreux; il y avait plus de 1 100 adhérents et 500 membres présents.

La session s'est ouverte à La Haye dans le palais de l'Académie des Beaux-Arts, entouré de ces magnifiques jardins dont M. Lippmann a donné une si agréable description. La séance d'inauguration a été présidée par le Ministre des Affaires Étrangères, M. de Roell, dont le discours avait un caractère de cordialité et de sympathie d'autant plus vif dans

ce Congrès que ses différents membres s'étaient déjà rencontrés. M. de Roell a revêtu d'une forme originale et qui ne laissait pas que d'être piquante cette idée — aujourd'hui presque banale — que les voies de communication sont des organes de la civilisation ; il a commenté avec beaucoup d'esprit une pensée exprimée au XVIIe siècle par un professeur de l'Université de Leyde : « A trois choses on reconnait une bonne république : de bonnes voies de communication, de bonnes monnaies et de bonnes horloges. » Il a terminé par cette métaphore pleine d'espérances pacifiques que les voies de communication, tant par terre que par eau, sont comme des mains fraternelles que se tendent les diverses nations en signe d'amitié.

M. le comte de Bylandt a été non moins cordial en prenant le fauteuil présidentiel.

La séance d'inauguration s'est terminée par une conférence de l'éminent et sympathique M. Conrad, qui fut si longtemps à la tête du Waterstaat. Il a raconté, avec autant de science que de charme, la lente et laborieuse formation de cette terre de Hollande, si chère à ses enfants, et dont la défense contre ses ennemis naturels, les fleuves et l'océan, leur a coûté tant d'efforts et de sacrifices.

Le programme du Congrès comprenait sept questions dont l'étude était répartie entre quatre sections.

1re Question.

Construction des canaux de navigation permettant une exploitation à grande vitesse.

A une semblable question, il n'est pas de réponse applicable partout : la solution varie avec les pays. En Allemagne, la tendance à créer des canaux à grande section s'explique naturellement puisque les canaux ont généralement pour but de relier entre eux des cours d'eau de grande largeur, dépourvus d'écluses et parcourus par une batellerie dont la tendance est d'augmenter toujours les dimensions des bateaux. A ce sujet, M. Gröhe, Ingénieur des travaux hydrauliques à Münster, a constaté que dans la flotte rhénane allemande qui se compose de 6 128 bateaux jaugeant ensemble 1 405 158 *t* métriques (mètres cubes) il s'en trouve 950 à vapeur d'au moins 800 *t* qui représentent plus de la moitié du tonnage total.

Comme la profondeur de certaines sections du Rhin navigable, en eaux moyennes, ne dépasse pas beaucoup 2 *m*, la capacité des bateaux n'a pu s'acquérir que par l'augmentation de longueur et de largeur. Cela n'a pas d'inconvénient sur un fleuve comme le Rhin, mais il serait impossible de faire des canaux de dimensions suffisantes pour que des bateaux de cette espèce n'y causent pas de graves dégradations. Quand les cours d'eau sont à section étroite, à mesure qu'on diminue le rapport de la section mouillée du canal à la section immergée du bateau, on produit un accroissement de résistance et en même temps les remous et les vagues amènent la destruction des berges. C'est ce qui a lieu sur les canaux français et belges où circulent des péniches qui ont 5 *m* de largeur et 1,80 *m* d'enfoncement avec une section mouillée de près de 9 m^2.

Les dimensions de quelques-uns de ces canaux sont résumées dans le tableau suivant :

Canaux	Largeur au plafond.	Profondeur.	Rapport des sections $\frac{C}{B}$
De la Marne au Rhin . . .	10 *m*	2,00 *m*	2,89
De l'Oise à l'Aisne.	10 *m*	2,20 *m*	3,25
De l'Escaut.	11 *m*	2,20 *m*	3,50
De Saint-Quentin.	12 *m*	2,30 *m*	3,74

L'influence du rapport $\frac{C}{B}$ sur la résistance à la traction et sur la puissance d'érosion est à l'étude de divers côtés. Elle se pressent d'ailleurs de plus d'une façon. Ainsi, il est prouvé expérimentalement qu'à vitesse égale et pour un même enfoncement, le halage par chevaux, très pénible sur le canal de la Marne au Rhin, est moins fatigant sur les canaux de l'Oise et de l'Escaut et est relativement facile sur le canal de Saint-Quentin; cependant les variations du rapport $\frac{C}{B}$ ne sont pas considérables.

En Hollande, il y a plusieurs catégories de canaux. Les Bœzen-Canalen ont été faits d'abord pour évacuer les eaux des polders dont le volume est souvent considérable; la configuration du sol limitant la pente et la profondeur, on a dû atteindre de grandes largeurs. Ainsi le canal de l'Amstel, qui dessert le Polder d'Amsterdam, a une largeur qui va progressivement de 50 à 90 *m*; le Spaarne une largeur de 40 à 235 *m*; la Schie de 24 à 42 *m*, avec une profondeur qui ne dépasse pas généralement 2 *m*. Avec des nappes d'eau si étendues, les remous n'ont plus d'influence sur les berges; aussi la navigation à grande vitesse a-t-elle pu s'y développer. Avant la vapeur et les chemins de fer, les Hollandais avaient pour le transport des voyageurs les trekschuitten, sortes de grands bateaux plats halés au trot. Les bateaux à vapeur les ont remplacés et, malgré les chemins de fer, ont encore une clientèle nombreuse. Il y a aujourd'hui 130 entreprises distinctes faisant des services réguliers à des vitesses de 6 à 10 *km* à l'heure sur les canaux, de 15 à 17 *km* sur les rivières. Ces bateaux atteignent des dimensions considérables, 70 à 74 *m* de long, 13 à 14 *m* de large, et quelques-uns peuvent contenir plus de 1 500 voyageurs.

La question posée au Congrès se réduit à déterminer, pour un bateau d'une section immergée et d'une vitesse donnée, un profil mouillé qui puisse être pratiquement assimilé à une nappe d'eau indéfinie. Mais cause des dépenses excessives que nécessiterait la réalisation de ce profil, il n'y aurait à sa détermination qu'un intérêt théorique. Pratiquement, on doit rechercher quelle est la vitesse qu'il faut donner à un bateau déterminé — et pour cela ce sont surtout des considérations économiques et commerciales qui doivent agir — et voir ensuite quel est l'effort de traction dont on veut faire la dépense. De la sorte, au problème général on en a substitué un autre plus spécial consistant à rechercher le profil du canal qui correspond à un certain effort de traction. Mais ce

problème, même ainsi circonscrit, n'est pas actuellement résolu, car la seule chose qu'on sache d'une façon certaine est que la vieille formule $R = KBV^2$ est inexacte, tout au moins incomplète.

Les expériences que M. de Mas poursuit avec une rare sagacité et dont M. Fleury a parlé récemment devant la Société n'ont porté jusqu'à ce jour que sur la traction des bateaux à divers enfoncements, la section du cours d'eau ou du canal restant constante. Ces expériences se continuent. Elles font pressentir que la résistance décroît avec une grande rapidité quand le rapport $\frac{C}{B}$ des sections augmente. Lorsqu'elles seront achevées peut-être pourra-t-on en déduire une relation empirique entre l'effort de traction, la vitesse et le rapport des sections.

En attendant, on en est réduit à des améliorations de détail et à des recherches pratiques sur les meilleurs moyens de défendre les berges contre l'érosion: et quoique au Congrès de la Haye aient été exposés 150 moyens différents de défendre les berges, la question n'a pas été résolue.

2e Question.

Outillage des ports de navigation.

Les grands ports établis sur les cours d'eau d'Allemagne et de Hollande se distinguent des nôtres par la puissance de leur outillage, l'étendue de leurs entrepôts, l'importance de leurs raccordements. En France, sur un réseau de navigation de 12 000 *km* il y a 70 raccordements ne donnant presque aucun résultat. Les ingénieurs de la navigation attribuent ce résultat aux taxes excessives que réclament les Compagnies de chemin de fer et au mauvais entretien des ports qu'elles possèdent, comme c'est le cas à Givors et à Perrache. M. Fleury signale ces plaintes sans les apprécier en ce moment, mais y trouve une nouvelle indication de l'état de concurrence qui lui semble l'état naturel des relations entre ces deux modes de transport.

D'ailleurs il faut remarquer que, tandis que les ports allemands et hollandais sont des ports de transbordement, et souvent en même temps des ports terminus, les nôtres sont des ports d'embarquement ou des ports de consommation locale; ils sont fréquentés par des péniches dont la starie ne dépasse pas 8 à 10 francs par jour; il y a avantage à payer cette somme au marinier et à éviter les frais de grue, d'entrepôt, de manutention. D'ailleurs lorsqu'il y a quelque opération à faire avec le secours d'engins, l'initiative privée y pourvoit, à condition qu'une réglementation administrative trop étroite ne la décourage pas. On en a un exemple sur les quais de Paris, qu'on se plaît à représenter comme le plus grand port de France et où l'outillage est rare et affecté seulement à des usages spéciaux. Quant aux ports d'embarquement, l'initiative privée ne tarde pas à y faire les installations nécessaires si elles doivent être fructueuses. C'est ce qui a lieu dans les charbonnages du Nord, aux Bas-Vignons, à Essonnes, à Chauny, à Saint-Gobain, à la sucrerie de Sermaize, à Haudelaincourt près Longwy, à Liverdun, Frouard, Malzéville, Jarville, Dombasle, à Varangeville qui présente un vrai type de port de jonction des voies ferrées avec les voies navigables. MM. Monet

et Dardenne, Ingénieurs des Ponts et Chaussées, ont décrit ces installations au Congrès de la Haye. Ils ont reconnu que l'initiative privée est particulièrement apte à donner des résultats économiques satisfaisants et ont conclu qu'il convient de lui venir en aide en simplifiant notamment, dans la mesure du possible, les formalités nécessaires.

M. Fleury pense qu'il y a lieu de louer le Congrès de la Haye d'avoir formulé un vœu dans le même sens.

Ports de Rotterdam et d'Amsterdam.

A la question de l'outillage des ports se rattache la description succincte des deux grands ports de la Hollande, Rotterdam et Amsterdam.

La situation géographique de Rotterdam est, sans doute, éminemment favorable à l'établissement d'un grand port commercial ; cependant Rotterdam n'est devenu le grand port qu'il est que grâce aux efforts faits avec tant de persévérance pour lui conserver ses accès. Du côté de la mer, l'ensablement progressif des embouchures de la Meuse menaçait d'interdire au commerce l'approche de la ville. De 1820 à 1827, on creusa le canal de la Voorne, qui permit le passage aux navires de 5,60 *m* de tirant d'eau et de 70 *m* de long. En 1863, par une sorte de prescience, on se rendit compte que ce résultat deviendrait insuffisant.

L'illustre Caland avait démontré l'impossibilité d'améliorer l'embouchure actuelle de la nouvelle Meuse ; il proposa de rectifier le cours du Scheur, bras septentrional de la nouvelle Meuse, et de lui ouvrir une nouvelle embouchure à travers les dunes du Hoek van Holland.

Il avait cru pouvoir profiter du courant du Scheur pour le faire travailler au creusement de son nouveau lit, mais on s'aperçut bientôt que si l'on approfondissait le canal, on en fermait du même coup l'ouverture et que le ralentissement de vitesse à l'embouchure amenait des dépôts de sable; il fallut draguer. Les résultats dépassèrent les espérances ; la profondeur, qui en 1875 était de 4,30 *m*, atteint aujourd'hui près de 10 *m* et permet à toute heure de la marée le passage aux navires calant 8 *m*.

C'est actuellement la meilleure condition pour être un grand port, car les vapeurs peuvent y venir à n'importe quel moment *faire la cueillette*. c'est-à-dire chercher un chiffre de tonnes peu élevé, mais complétant leur chargement.

De plus, les travaux faits en Allemagne sur le Rhin et ceux poursuivis sur le Wahal, le Rhin inférieur et le Leck ont fait passer par Rotterdam, la voie la plus directe des provinces rhénanes à la mer. Aussi en 10 ans le trafic a-t-il plus que doublé.

Voici les chiffres relatifs à l'année 1893 :

Par mer :

Entrées.		Sorties.		Ensemble.	
Nombre de bateaux.	Tonnage net Mètres cubes.	Nombre de bateaux.	Tonnage net Mètres cubes.	Nombre de bateaux.	Tonnage net Mètres cubes.
—	—	—	—	—	—
4 770	10 121 031	4 858	10 311 134	9 628	20 432 165

Navigation intérieure :

		Bateaux de pêche.	
Nombre de bateaux.	Tonnage net Mètres cubes.	Nombre de bateaux.	Tonnage net Mètres cubes.
—	—	—	—
96 421	8 363 358	3 928	684 632

Pour répondre à ce mouvement, la ville de Rotterdam a dû multiplier et agrandir ses installations d'année en année ; elle les exploite directement à des taux très modérés.

Les opérations maritimes se font à quai, sur le bord du fleuve ou autour des bassins ; la longueur des quais est de 15 *km* sur la rive droite et de 10 *km* sur la rive gauche.

Une des caractéristiques du port de Rotterdam est l'importance des transbordements qui s'accomplissent du bateau de mer au bateau de rivière et réciproquement, au moyen d'amarrages fixes, placés au milieu de la rivière et dans quelques bassins, et grâce auxquels l'accostage se fait des deux côtés à la fois.

L'outillage du port est très multiplié, on y compte 50 grues mobiles, les unes à vapeur, les autres à eau sous pression ; ces dernières donnent des résultats médiocres au point de vue économique. Sur le Binnenhaven sont installés des appareils destinés à l'embarquement du charbon et permettant de déverser directement dans la cale du navire 20 wagons de 10 *t* à l'heure. Cette exportation est encore peu importante, mais elle fait des progrès rapides; elle est passée de 7 000 *t* en 1887 à 113 909 *t* en 1893.

La ville vend ou loue à bail de très longue durée les terrains qui entourent les bassins et y facilite la construction de hangars et de magasins. Quant aux voies de chemins de fer elles sont extrêmement nombreuses.

Entre Dordrecht et Rotterdam se trouvent des chantiers de construction de navires dont l'importance va constamment en croissant et cependant la Hollande ne produit aucune des matières premières nécessaires à la construction navale. M. Fleury considère que ce fait vaut la peine d'être cité; d'ailleurs il n'est pas unique; les chantiers de Belfast, qui sont les plus grands producteurs de navires à vapeur, ne trouvent en Irlande, ni houille, ni fer, ni acier.

Amsterdam est dans une situation comparable à celle de Rotterdam ; du côté de la mer, le canal de la mer du Nord débouchant à Ymuiden, à trois heures et demie ou quatre heures d'Amsterdam : du côté de la terre, un réseau multiple de chemins de fer et de voies navigables. Le canal de la mer du Nord est beaucoup plus étroit que le Hoek van Holland, sa largeur au plafond n'est d'abord que de 32 *m* ; elle atteint 50 *m* aux abords d'Amsterdam, mais, et c'est le point le plus grave, le tirant des navires y est limité à 7,20 *m* au maximum. Et encore cette profondeur n'est-elle assurée que grâce aux écluses d'Ymuiden, créées pour éviter l'oscillation de la marée qui atteint 1,60 *m*. L'écluse actuelle comprend deux parties accolées de 12 et 18 *m* de large et de 135 *m* de long. Une

nouvelle écluse est en construction; elle aura 25 *m* de large et 175 *m* de long; commencée en 1891 elle est aujourd'hui fort avancée. C'est une œuvre considérable qui a présenté et présente encore de sérieuses difficultés. Le seuil du radier est à 10 *m* au-dessous du niveau de basse mer, et le canal sera approfondi à 9 *m*, de façon à admettre les mêmes tirants d'eau que le Hoek.

Un gros inconvénient est qu'il y a trois ponts tournants, deux de 21 *m* d'ouverture et un de 19 *m*. C'est là une cause d'infériorité par rapport à Rotterdam; une autre est que les communications avec la vallée du Rhin sont beaucoup moins directes et moins faciles. Aussi le mouvement des marchandises de l'Allemagne avec la Hollande constaté à Lobith, port frontière sur le Rhin, se décompose-t-il ainsi en 1893 :

Rotterdam	3 290 049 m^3
Amsterdam	199 686
Anvers.	1 310 000
Autres ports	1 900 265
Total	6 700 000

M. Fleury n'hésite pas à dire que des quatre grands ports qui desservent cette partie de l'Europe, Hambourg, Amsterdam, Rotterdam, Anvers, c'est à Rotterdam que se trouvent réunies actuellement, avec le plus haut degré de perfection, les conditions favorables au port de commerce moderne.

3e Question.

Moyens de prévention contre les chômages causés par la gelée.

On s'est beaucoup entretenu, dans la 2e section du Congrès, des moyens de prévenir les chômages causés par la gelée. M. Caméré a présenté dans un mémoire très complet, le récit de grandes opérations de déglaçage faites sous sa direction en 1890-91.

Après une longue discussion, la section a conclu que l'emploi des explosifs est très coûteux, et que les meilleurs procédés sont les procédés mécaniques; soit qu'on emploie des bateaux brise-glace, soit qu'on se serve de grandes scies analogues à celles qui conviennent pour les pierres tendres.

4e Question.

Organisation du service de traction sur les voies navigables.

Au point de vue de l'organisation du service de traction sur les voies navigables, le Congrès a consacré les succès obtenus par l'application de l'électricité à la traction des bateaux. M. Hirsch, l'éminent professeur du Conservatoire, a fait une description fort complète des différents procédés en usage; il a constaté, à propos du toueur à adhérence magnétique de notre collègue M. de Bovet, que cet appareil fonctionne d'une façon très régulière et répond parfaitement au programme en vue duquel il a été fait. Actuellement, M. de Bovet a étendu ce programme; il a pensé qu'on pouvait appliquer le touage électrique aux canaux, en installant une chaine au fond du canal et sur le bateau lui-même une poulie et une dynamo qui recevrait le courant par des contacts avec des

conducteurs placés sur les rives. Cette idée est digne d'être poursuivie et peut donner de très grands résultats.

Il a été également question au Congrès de l'installation de touage électrique réalisée avec beaucoup de succès à Pouilly, sur le bief de partage du Canal de Bourgogne, par M. Gaillot, Ingénieur des Ponts et Chaussées. Les bobines d'enroulement de la chaine de touage sont commandées par une machine réceptrice Gramme installée sur le toueur, et recevant le courant au moyen d'une ligne aérienne et de trolleys. Les génératrices, du même type que les réceptrices, sont mues par des turbines Girard qu'actionnent des chutes produites par les eaux surabondantes du bief.

Enfin le Congrès s'est également occupé du système funiculaire si ingénieux, si savant dans ses dispositions de détail qu'a inventé M. Maurice Lévy, et qui a été essayé au canal Saint-Maurice. Il va être expérimenté de nouveau au souterrain du mont Billy, près Reims, sur le canal de l'Aisne à la Marne, et aussi sur quelques sections de canaux prussiens. Il faut espérer qu'on trouvera dans ces nouvelles expériences le moyen de remédier au vrillage du câble moteur, qu'on n'a pu efficacement empêcher jusqu'ici.

5e Question.

Le péage sur les voies navigables.

La question du péage sur les voies navigables se présente devant tous les Congrès et passionne ceux qui s'en occupent. Ils sont divisés en deux camps : d'un côté les bateliers, de l'autre les représentants de l'administration; les uns hostiles, les autres favorables au péage. Il ne s'est rien dit de bien nouveau, quoiqu'on ait beaucoup parlé. Le principe du péage lui-même n'a pas été mis en délibération. On s'est contenté d'exposer où on en était à ce sujet dans les principaux pays d'Europe.

6e Question.

Corrélation entre le tracé des rives et le régime du chenal dans les fleuves.

On sait depuis longtemps que les concavités des rives donnent lieu à des fosses d'autant plus profondes qu'elles sont elles-mêmes plus caractérisées. C'est là une observation générale mais qui ne s'est précisée qu'à la suite des travaux de M. Fargue, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, qui fut pendant longtemps chargé du service de la Garonne maritime. Il a montré que la corrélation était plus étroite qu'on ne pensait, et que toutes les variations de la courbure le long d'une concavité donnaient lieu à une variation correspondante de la profondeur.

De plus, entre la distance des points maxima et minima de la courbure et celle des points maxima et minima de la profondeur correspondante, il y a un rapport presque constant qu'on a nommé l'*écart*.

Ces relations constituent-elles une loi? C'est ce dont s'est préoccupé le Congrès de la Haye où ont été réunis des renseignements venus de France, d'Allemagne, de Russie, de Hollande; dans ce dernier pays ont été faites des observations très patientes et très exactes; on a repris l'état ancien des fleuves, ce que permettent des archives très complètes sur

ce sujet, et on a conclu que s'il y a des parties où la corrélation entre la courbure des rives et la profondeur du chenal est manifeste, sur d'autres parties cette corrélation est inappréciable. Les observations faites en Russie sur le Dniéper sont également peu concluantes.

La question est sans doute fort complexe et il est difficile, pour l'étudier, d'isoler les différentes influences : largeur du cours d'eau, rapidité du courant, état de la surface des fonds et des berges; néanmoins, M. Fleury ne regarde pas le problème comme insoluble et félicite le Congrès d'en avoir renvoyé l'étude à son successeur en lui recommandant d'y procéder avec un programme précis, sorte de questionnaire qui fixera les idées et guidera les recherches.

7e Question.

Amélioration des rivières en basses eaux.

Cette question se lie étroitement à la première, en ce qu'elle procède de l'observation patiente et de la discussion des faits.

L'opinion ordinaire des ingénieurs allemands est que pour conserver le lit mineur d'un fleuve, il faut l'enfermer entre deux digues longitudinales. Ce procédé n'a pas toujours réussi et on a obtenu, notamment, de très mauvais résultats quand on a voulu l'appliquer au Rhône. Aussi, les ingénieurs chargés du service de ce fleuve ont-ils cherché une autre combinaison. M. Girardon, qui a eu la gloire — le mot n'est pas trop fort — de conduire à bien ce grand et difficile travail de la régularisation du Rhône, en a fait un exposé qui a eu un grand et légitime succès. Dans chaque partie du fleuve, il a observé attentivement ce qu'on pouvait appeler un *bon passage* naturellement formé et en a déterminé les conditions caractéristiques, puis il les a reproduites artificiellement dans les *mauvais passages*, en comblant des fonds, en mettant des épis transversaux et longitudinaux. Aujourd'hui, le Rhône amélioré a, aux basses eaux, un mouillage de 1,25 *m*, au lieu de 0,40 *m* en 1878.

M. Fleury aurait encore beaucoup à dire sur le Congrès de la Haye, mais l'heure avancée l'oblige à s'arrêter. Il signale qu'à la Haye a été résolue, non sans quelque lutte, la fusion des Congrès de Travaux maritimes et de Navigation intérieure. A l'avenir, ce seront des Congrès de Navigation. Le prochain se tiendra à Milan. Avant de terminer, M. Fleury tient à adresser encore une fois, en son nom et en celui des membres de la Société qui sont allés à la Haye, un souvenir reconnaissant à nos Collègues de Hollande qui sont devenus, pour lui, des amis dont on se souvient avec plaisir. *(Applaudissements.)*

M. le Président remercie M. Fleury de son compte rendu très instructif et qu'il a présenté d'une façon si intéressante.

Il est donné lecture de demandes d'admission de MM. E. Duchesne, M. Paré, F. Rahola-Puignau et E.-M. van Diest comme membres sociétaires et M. A. Clavel, comme membre associé.

M. J.-F.-F. Chameroy est reçu comme sociétaire.

La séance est levée à 10 heures trois quarts.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 19 OCTOBRE 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. Henry Guary, un des membres les plus distingués de la Société, à laquelle il appartenait depuis 1880; il lui sera consacré une notice nécrologique, qui sera lue à la prochaine séance.

M. le Président a le plaisir d'annoncer la nomination de M. Gallut comme officier du Nicham Iftikar.

M. le Président fait connaître que la Société a obtenu à l'Exposition d'Anvers un diplôme d'honneur (*Moniteur belge* du 3 octobre 1894); c'est la seconde récompense de ce genre qui nous est accordée.

M. le Président donne lecture de la liste des membres de la Société qui ont fait partie des jurys des récompenses aux Expositions de Lyon et d'Anvers (Voir pages 479 et 480 de ce *Bulletin*).

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. van Diest, dans laquelle celui-ci annonce qu'il fait don à la Société d'une somme de 50 *f*.

M. le Président lui adresse à cette occasion tous les remerciements de la Société.

M. le Président annonce que M. le D[r] Dunant, gendre de M. D. Colladon, a prié M. A. Mallet de remettre à la Société une médaille frappée à l'effigie de notre regretté et éminent Collègue.

M. le Président signale, parmi les livres reçus, deux ouvrages de MM. Léon Appert et Henrivaux, l'un intitulé la *Verrerie depuis vingt ans*, l'autre *Verre et Verrerie*, qui sont tous deux du plus haut intérêt.

M. Gustave Richard présente à la Société l'ouvrage de M. Henri Maréchal, Ingénieur des ponts et chaussées et du service municipal de la Ville de Paris, intitulé l'*Éclairage à Paris* (1). Ce sujet, des plus importants, a été traité par M. Maréchal avec une grande précision, une impartialité absolue, et une clarté telle que, malgré son extrême concision, cet ouvrage, rempli de documents techniques, historiques et financiers de toute espèce et puisés aux meilleures sources, est d'une lecture agréable et facile. Ce mérite se manifeste tout spécialement dans la partie très importante de l'ouvrage consacrée à l'*Éclairage électrique*,

(1) Un vol. grand in-8°, 496 pages, 211 figures. Paris, Baudry (1894).

où l'auteur a su présenter une description des différents secteurs qui se partagent aujourd'hui la moitié de Paris avec assez de clarté pour la rendre parfaitement compréhensible aux Ingénieurs même les moins familiarisés avec la technologie de l'électricité. On sait que, malgré les innombrables règlements dont on a protégé chez nous les installations électriques, celles des divers secteurs de Paris diffèrent de l'un à l'autre presque du tout au tout, de sorte que leur exploitation ressemble à celle d'un vaste champ d'expériences, et que leur monographie, si bien exposée par M. Maréchal, offre un très vif intérêt technique, un tableau très complet de la plupart des systèmes de distribution de l'électricité actuellement employés dans l'industrie. Malheureusement, de pareils essais sont très coûteux, et cette considération, jointe à l'obstruction par les règlements, etc., fait que l'éclairage électrique ne s'est que relativement très peu répandu à Paris, malgré les occasions exceptionnellement nombreuses qui lui sont naturellement offertes. Paris ne compte, en effet, actuellement que, environ, 280 000 lampes à incandescence et 9 500 lampes à arc, et toute une moitié de notre capitale, la rive gauche, est encore absolument privée d'éclairage électrique.

A côté de l'éclairage électrique se place, infiniment plus répandu, l'*Éclairage au gaz*, auquel M. Maréchal consacre la première partie de son ouvrage. La Compagnie Parisienne, qui en exploite le monopole, emploie 9 000 ouvriers, possède 2 150 *km* de canalisations, 9 usines, 878 fours, avec des gazomètres majestueux de 33 000 m^3, les appareils de lavage, de purification, de récupération des sous-produits les plus perfectionnés; elle produit chaque année 300 millions de mètres cubes de gaz avec une perte de 6 0/0 seulement dans les canalisations, tirés de la distillation de plus d'un million de tonnes de houille, qui donnent 19 millions d'hectolitres de coke... Malheureusement, ce formidable appareil n'aboutit, en définitive, qu'à livrer aux consommateurs parisiens pour 0,30 *f* le mètre cube de gaz qui revient à 0,05 *f* net en fabrication. Ce n'est pas flatteur en comparaison, par exemple, de ce qui se passe à Bruxelles, où l'usine municipale livre le gaz à 0,10 *f* le jour et à 0,15 *f* la nuit, tout en trouvant le moyen de payer largement avec ces prix son éclairage municipal, proportionnellement au moins aussi brillant que le nôtre. La raison d'être de cet état de choses, le lecteur la trouve développée tout au long dans le chapitre V du livre de M. Maréchal, intitulé *la Ville de Paris et la Compagnie Parisienne du Gaz*, où se trouve racontée une grande partie des traités et projets de traités, disputes et expertises, intervenus de 1855 à 1894, entre le Conseil municipal et la Compagnie. Monceaux de procédure, de discours et de rapports, d'où il résulte, en somme, que l'une des parties : la Compagnie, ayant tout intérêt à épuiser son monopole jusqu'au bout, et le Conseil, grand embarras à remplacer les 10 ou 12 millions de redevance annuelle que lui paye si régulièrement ce monopole, l'état actuel persistera très probablement longtemps, n'ayant d'autre raison de cesser que l'ennui, pour le contribuable, de payer infiniment trop cher une nécessité aussi primordiale que la lumière.

Malgré ce prix municipal, dont des Américains se consoleraient peut-être en faisant remarquer qu'il est le plus élevé du monde, l'éclairage

au gaz est encore actuellement bien moins coûteux que l'éclairage électrique à l'incandescence : 0,01 *f* le carcel-heure avec les becs Auer à 20 *l* par carcel, au lieu de 0,045 *f* avec de l'électricité fournie à 0,12 *f* l'hectowatt-heure. Mais il faut remarquer que, sur ces 0,12 *f* de l'hectowatt, il y a 0,09 à 0,10 *f* imputables aux frais de distribution, de Société, d'amortissement, rendus tout à fait excessifs par les fausses dépenses du début, les majorations de toute sorte, les règlements et les cahiers des charges, ainsi que par la répartition même des concessions, faite absolument à l'opposé, comme on le sait, de celle qui aurait convenu à l'établissement et à l'extension normale de cette industrie. Ces règlements, cahier des charges, etc., sont reproduits partie à la fin du chapitre X du livre de M. Maréchal, partie au chapitre XII, intitulé *la Ville de Paris et les Sociétés d'électricité*. Ces choses ne s'analysent pas ; il suffira de dire que ce chapitre fait fort bien pendant au chapitre V, intitulé *la Ville de Paris et la Compagnie Parisienne du Gaz*, et que M. Maréchal a eu grandement raison de conserver dans son bel ouvrage, qui sera certainement consulté par les historiens futurs de la civilisation parisienne, ces spécimens de littérature officielle, bien faits pour restaurer dans l'esprit de nos descendants, si par malheur ils en étaient venus à le perdre, le culte des beautés administratives.

Le livre de M. Maréchal se termine par un chapitre extrêmement intéressant et nouveau, intitulé : l'*Éclairement des voies publiques*, dans lequel l'auteur applique en grand, pour la première fois, croyons-nous, d'une façon aussi générale et pratique, les méthodes de la photométrie à l'évaluation de l'éclairement des rues et des places de Paris. On sait que rien n'est plus difficile que l'appréciation complète de cet éclairement, parce que l'impression normale que produit un éclairage donné, et qu'il faudrait, en somme, prendre pour critérium de sa valeur, est fonction non seulement de son éclairement photométrique, mais aussi de conditions physiologiques peut-être impossibles à définir bien exactement, mais dont l'influence, bien qu'irréductible en chiffres et en formules, n'en est pas moins très réelle. C'est ainsi, par exemple, que l'éclat éblouissant des arcs qui, forcément, tirent l'œil, appellent comme invinciblement le regard et dont les ombres portées sont si tranchantes, fait que leur éclairage inspirera toujours, à éclairement photométrique égal, moins de sécurité, pour éviter une voiture, et nous occasionnera plus de fatigue, en raison aussi de nos habitudes et de la moindre adaptation de nos yeux aux clartés très vives. Néanmoins, l'évaluation de l'éclairement par les méthodes de M. Maréchal étant sans doute la plus complète, ou, du moins, la plus scientifique, celle qui fournit le plus d'éléments rigoureusement comparables, est du plus vif intérêt, et devra servir de base ou de point de départ dans toutes les recherches analogues. L'auteur a pris pour caractéristique du prix de l'éclairement celui de l'*Are Bougie Mètre-Heure*, c'est-à-dire, la dépense qu'il faut pour éclairer pendant une heure une surface de 100 m^2 avec une intensité moyenne égale à celle que donne une bougie placée à 1 *m* de distance, ou ce que coûte cette intensité par heure et par décamètre carré. La valeur de cette unité, à laquelle on pourrait donner le nom de « prix de l'éclairement », s'élève, d'après M. Maréchal, à 0,0385 *f*

avec les becs à récupération de 750 *l* de la rue du Quatre-Septembre (éclairement moyen 1 bougie 29) et le gaz à 0,15 *f*, prix payé par la Ville ; elle varie de 0,0162 *f* à 0,0128 *f* selon leur répartition et leur hauteur, avec les lampes à arc cotées à 0,40 *f* l'heure, qui conservent ainsi l'avantage au point de vue photométrique.

Ce compte rendu trop écourté du livre de M. Maréchal ne peut en donner qu'une idée malheureusement fort incomplète; M. Richard espère qu'il suffira néanmoins pour persuader à nos collègues que ce bel ouvrage a sa place marquée dans la bibliothèque de tous les Ingénieurs.

M. le Président remercie M. G. Richard de son très intéressant compte rendu et donne la parole à M. Ch. Compère pour sa communication intitulée : *Expériences sur la condensation des machines à vapeur à différentes températures*.

M. Ch. Compère rend compte des résultats d'une série d'essais qu'il a entrepris autrefois au Creusot sur la quantité d'eau nécessaire à la condensation des machines à vapeur.

Ces résultats montrent qu'en somme, lorsqu'on est limité dans la dépense d'eau, on peut encore adopter la condensation sans diminuer sensiblement l'économie des machines à vapeur : c'est là un résultat utile à faire connaître, surtout dans la région parisienne où il n'est pas toujours possible d'avoir de l'eau d'un puits et où l'eau de la Ville n'est livrée qu'à un prix assez élevé.

Ces essais ont été faits sur une machine Corliss, du type construit tout d'abord par le Creusot.

La quantité d'eau froide injectée au condenseur était mesurée par un compteur Samain ; la température de cette eau était relevée en faisant couler l'eau d'un petit robinet placé sur l'arrivée au compteur.

La température de l'eau chaude rejetée du condenseur était prise directement dans le compartiment de refoulement du condenseur.

Des diagrammes ont été relevés sur la machine pour en connaître le travail et rapporter par suite la consommation de vapeur au cheval indiqué.

Une chaudière spéciale n'ayant pu être installée pour alimenter la machine, la consommation de vapeur de cette machine a alors été établie par la méthode calorimétrique basée sur l'augmentation de température du poids d'eau injectée au condenseur, ainsi que cela a été pratiqué en Alsace.

Il a été également relevé des diagrammes sur la pompe à air.

D'après les résultats des expériences, on voit que, l'eau d'injection étant à 10°, on peut réduire de moitié la dépense d'eau d'injection en condensant à 40° au lieu de 25°, sans que la consommation de vapeur par cheval s'élève beaucoup, de 7,4 *kg* à 8 *kg* seulement.

Comme M. Compère l'a dit plus haut, cette conclusion est très intéressante au cas où l'on est obligé de payer l'eau à un prix élevé ou quand il faut forer un puits et établir une pompe.

Les expériences de M. Compère lui ont permis également de constater la loi des contre-pressions réelles et effectives au cylindre.

La contre-pression réelle est celle donnée par le manomètre de vide à chaque température de condensation.

La contre-pression effective est celle obtenue en tenant compte du travail de la pompe à air.

Ce travail peut, en effet, être traduit en contre-pression au cylindre et intervient dans le rendement de la machine, c'est-à-dire dans la différence entre le travail indiqué sur le piston T_m et le travail recueilli sur l'arbre T_u de la manière suivante :

$$T_u = T_m - T_f - T_p$$

T_f étant le travail des frottements,

T_p le travail de la pompe à air.

Le travail T_m est égal à $K[P - h]N$;

K, constante;

N, nombre de tours;

$P - h$, ordonnée moyenne des diagrammes relevés sur le cylindre à vapeur;

P, pression moyenne absolue sur le piston;

h, contre-pression à l'échappement.

Le travail de la pompe à air T_p peut être transporté dans le travail indiqué T_m en augmentant la contre-pression réelle d'une quantité h, et, par suite, en diminuant l'ordonnée moyenne $P - h$ du diagramme.

Les résultats obtenus ont montré que le travail résistant de la pompe à air va en augmentant quand on condense plus froid.

M. Compère a observé alors que, la température de condensation étant de 15°8, et la pression au condenseur de 6,2 *cm* de mercure, en cherchant à abaisser la température à 13°7, 13°5, 13°2, la pression au condenseur est montée à 6,3 *cm*, 6,6 *cm*, 6,7 *cm*.

De plus, la contre-pression effective que crée le travail absorbé par la pompe à air rend nuisible la condensation froide à une température même supérieure à 15°8. La température de condensation au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre, alors même que l'on disposerait d'eau en proportion illimitée, est donnée par l'ordonnée minimum de la courbe des contre-pressions effectives au cylindre, soit 22°5, dans le cas des expériences où la température de l'eau d'injection était de 10°. Ce minimum doit naturellement varier avec la température de l'eau injectée.

Dans tous les cas, en condensant au-dessous de ce minimum, on diminue le rendement de la machine et on augmente par suite la consommation de vapeur par cheval-heure.

Les expériences de M. Compère montrent, en résumé, que :

1° *On peut diminuer de beaucoup la dépense d'eau nécessaire à la condensation sans augmenter sensiblement la consommation de vapeur par cheval, ce qui est intéressant lorsque le prix de cette eau est élevé;*

Il est bien entendu que les condenseurs à eau régénérée répondent à cette préoccupation de prix, mais ces appareils ne rentraient pas dans le cadre des expériences en question.

2° Lorsqu'on dispose même d'eau en proportion illimitée, si on cherche à condenser à une température trop basse, la consommation de la machine se trouve augmentée.

M. le Président dit que ces résultats présentent beaucoup d'intérêt et remercie M. Compère de les avoir communiqués à la Société.

En l'absence de M. Lavezzari, qui, retenu à l'étranger, ne peut faire ce soir sa communication sur *Diverses installations électriques*, la parole est donnée à M. G.-J. Hart pour traiter de l'*Emploi de l'aluminium dans les constructions navales.*

M. Hart rappelle d'abord que, dans la séance du 3 avril 1891, M. Ch. Haubtmann a fait une remarquable communication sur la métallurgie de l'aluminium, communication qui a été suivie d'une discussion à laquelle ont pris part MM. Jordan, Spiral, Regnard et Lencauchez. Il ne parlera aujourd'hui que de quelques applications faites depuis cette époque aux constructions navales, branche de constructions où la légèreté est capitale et où l'aluminium peut, par suite, rendre de grands services.

La production de l'aluminium s'est beaucoup développée dans ces dernières années. Les usines de Froges (Isère) et de Neuhausen (Suisse), sans compter d'autres usines en installation, peuvent aujourd'hui fournir une quantité assez considérable d'aluminium et pourraient encore augmenter leur production si les débouchés étaient plus nombreux.

L'aluminium produit aujourd'hui est beaucoup plus pur que précédemment, il se forge, se lamine et se tréfile facilement; seule la soudure en est difficile, bien qu'elle soit réalisable à l'aide de soudure à base d'aluminium et de zinc, mais c'est toujours une opération délicate.

La mise en œuvre de la matière première se fait surtout au Valdoie (près Belfort) dans l'usine de M. Charpentier-Page, mais quelques usines ont également entrepris ce genre de travail dans le sud de la France.

En 1891, la maison Escher Wyss, de Zürich, entreprit la construction de deux embarcations à pétrole, en bronze d'aluminium à 6 0/0; celles-ci donnèrent toute satisfaction et procurèrent un bénéfice de poids très appréciable, puisque dans la plus grande, qui pesait 1 500 *kg* et dans laquelle il entrait 700 *k* d'aluminium, il ressort à : $\frac{700 \times 8}{2,8} - 700 = 1\,300$ *kg*, soit environ 60 0/0 du poids total de la construction si elle eût été en acier de mêmes dimensions.

Malheureusement, le prix en fut assez élevé, mais cette cherté est en partie imputable au prix du moteur et de la main-d'œuvre très soignée.

Il faut ajouter que ces embarcations eurent une vitesse de 2 *km* à l'heure plus grande que les embarcations similaires en fer ou en bois.

En 1892, les Forges et Chantiers de la Loire, à Saint-Denis, commencèrent la construction d'un yacht de mer en bronze d'aluminium à 6 0/0, le *Vendenesse*. Construit sur les plans de M. Guillou, Ingénieur de la marine hors cadre, qui en dirigea les travaux, et qui a une large part dans l'application faite jusqu'ici de l'aluminium aux constructions navales, il a donné toute satisfaction au point de vue de la coque, à la fois solide et légère. Elle a supporté sans fatigue l'énorme poids de 11 *t*

de plomb dans la quille et, malgré une expérience très dure de renversement et des traversées très mouvementées, aucun joint n'a perdu son étanchéité. Un séjour prolongé dans un bassin du Havre a même paru démontrer que pratiquement l'aluminium était à peu près inattaquable à l'eau de mer, avec certains soins; 1 100 *kg* d'aluminium entrèrent dans la construction du *Vendenesse*, de sorte que le gain en poids, par rapport

l'acier, est de $\frac{1\,100 \times 8}{2,8} - 1\,100 = 2\,040$ *kg*, soit environ 14 0/0 du déplacement total. Quelques bruits fâcheux ont couru au sujet de l'habitabilité des bateaux en aluminium, mais ceux-ci ne paraissent pas avoir d'inconvénients propres autres que les condensations par temps humides, communes à toutes les constructions métalliques.

Dans le courant de 1892-1893, la Marine et le Ministère des Colonies firent construire une vingtaine de chalands et chaloupes pour des missions coloniales, et enfin, en 1893, le Ministère de la Marine décida la construction en aluminium d'un torpilleur destiné à être embarqué sur *la Foudre*. Ce torpilleur, construit par la maison Yarrow de Poplar, vient de faire des essais qui ont été des plus satisfaisants; la vitesse réalisée a été de 20 1/2 nœuds, ce qui est très beau étant donnée la faible taille de ce torpilleur (19 *m* de long); les qualités nautiques ont été remarquables, les extrémités du bateau étant très légères et le gain de vitesse des plus notables puisque les similaires en fer ou en acier ne dépassent guère 16 à 17 nœuds.

L'aluminium semble donc être entré dans une ère nouvelle au moins sous forme d'alliage à 5 à 6 0/0 de cuivre. Ses applications sont déjà importantes et nul doute qu'elles ne s'étendent si le prix de la matière première vient encore à baisser.

Actuellement sa résistance (28 à 30 *kg*) est suffisante ainsi que le pour cent d'allongement (14 à 20 0/0); seule la limite d'élasticité est faible et peut faire craindre des déformations permanentes pour les pièces qui fatiguent. On peut cependant espérer que, grâce aux études qui se poursuivent sur les alliages de nickel-aluminium, on pourra bientôt disposer d'un métal plus élastique et tout aussi résistant que l'alliage actuel.

Il faut cependant noter que la faculté qu'a l'alliage d'aluminium de s'écrouir rend le recuit après travail indispensable comme pour l'acier; mais il est beaucoup plus facile, car il suffit de chauffer le métal à 200° ou 300° pendant un temps très court.

Aujourd'hui, la fabrication courante a déjà réussi à débarrasser l'aluminium de la plupart de ses impuretés. Depuis deux ans, le progrès est très sensible aussi bien à cet égard qu'à celui de l'abaissement du prix, qui est inférieur de 30 0/0 environ à ce qu'il était en 1890.

Pour terminer, M. Hart annonce que le Creusot étudie actuellement la construction d'un torpilleur de grande taille en aluminium, qui pourra sans doute réaliser, grâce aux perfectionnements déjà acquis et dont une bonne part revient à notre collègue M. Normand, du Havre, une vitesse non encore obtenue jusqu'à ce jour.

On entrevoit même la possibilité d'augmenter d'une manière très notable la vitesse sur les navires de moyennes dimensions tels que les avisos-torpilleurs.

M. P. Jannettaz demande à ajouter quelques renseignements au sujet de bateaux en aluminium actuellement en construction aux ateliers de M. Boucher à Argenteuil.

Ces bateaux, commandés par le Ministère des Colonies à M. Lefèvre, déjà connu pour l'impulsion qu'il a donnée à l'emploi de l'aluminium en l'utilisant dans la construction de voitures destinées au Soudan et des chalands *Etienne* et *Davoust*, feront partie d'une flottille destinée à naviguer sur le Haut Oubanghi. M. le lieutenant de vaisseau Besançon, qui en exercera le commandement et qui surveille actuellement la construction de ces bateaux, a aidé de ses conseils M. Boucher pour l'établissement de leurs plans qui ont été soumis à l'approbation de M. Rabourdin, Ingénieur du Génie maritime, détaché au Ministère des Colonies.

La flottille comprendra deux canonnières à vapeur en acier construites par les Ateliers et Chantiers de la Loire, cinq chaloupes en aluminium et une pirogue. Les chaloupes pourront marcher à la voile et à la pagaie; deux d'entre elles seront armées de pièces de 37 *mm*; elles portent les noms de *Crampell* et de *Lauzière*, l'un le Chef, l'autre l'Ingénieur de la malheureuse mission qui a péri au Congo en 1891.

Leur longueur est de 12 *m*, leur largeur de 3 *m*; le creux sur quille n'est que de 1 *m*, le tirant d'eau en charge 0,50 *m*, ce que nécessite le peu de profondeur des rivières auxquelles elles sont destinées.

Leur poids sera d'environ 1,5 *t* et elles pourront porter 10 tonnes.

Pour en permettre le transport à dos d'homme on les a divisées en treize tranches transversales de trois morceaux, soit trente-neuf morceaux qui ne pèsent qu'une quarantaine de kilogrammes chaque, ce qui est nécessaire, car de Loango à Brazzaville, il y a environ 600 *km* dans des sentiers à peine tracés.

L'aluminium employé vient de Froges; c'est du bronze à 6 0/0 de cuivre; l'usinage s'est fait aux forges de Sedan.

Les tôles ont 0,003 *m* d'épaisseur; les cornières ont des ailes de 0,05 *m* et une épaisseur de 0,0045 *m*.

Les essais de résistance, faits devant M. le lieutenant de vaisseau Besançon, sur des éprouvettes de 20 *cm* de longueur, ont donné 20 à 25 *kg* de résistance et 16 à 18 0/0 d'allongement; certains échantillons, ayant subi un travail spécial, ont donné jusqu'à 35 *kg* de résistance.

M. L. Rey annonce, au sujet de la soudure de l'aluminium, qu'il a entendu récemment à Anzin un Ingénieur affirmer avoir trouvé le moyen de souder l'aluminium si solidement que les cassures se produisent en dehors de la soudure.

A propos de la vitesse des torpilleurs en aluminium (27 à 28 nœuds), dont M. Hart a parlé tout à l'heure, il dit qu'il y a actuellement en construction chez M. Normand un torpilleur qui doit donner 30 nœuds, et qui n'est pas en aluminium.

M. L. Rey rappelle aussi, relativement aux vibrations, qu'on a récemment décrit devant la Société un torpilleur qui n'avait que très peu de vibrations; faut-il donc attribuer l'absence de celles-ci dans un torpilleur en aluminium à la nature même du métal? (1)

(1) Voir *Bulletin* d'avril 1894, pages 401 et suivantes.

M. Hart répond à ces différentes observations. Relativement à la soudure, il ne l'a vu pratiquer jusqu'ici que sur de petites pièces. Au point de vue de la vitesse des torpilleurs, il fait remarquer qu'il y entre un élément important : la longueur, qui empêche de comparer les vitesses de bateaux de dimensions très différentes. Quant aux vibrations, il ne croit pas qu'elles aient été jusqu'ici supprimées d'une façon aussi complète que dans le torpilleur en aluminium dont il a parlé ; d'ailleurs, il reconnaît que M. Normand arrive à les supprimer presque entièrement, et il rend hommage à l'habileté de notre collègue en citant des expériences comparatives faites en Russie sur des torpilleurs construits par lui et dont les vitesses se sont à peu près maintenues égales à celles obtenues pendant les essais tandis que les torpilleurs Schichau, Thornycroft et Yarrow avaient perdu 2 ou 3 nœuds.

En présence de ces résultats, il n'est pas douteux que notre collègue n'arrive par l'emploi de l'aluminium à des vitesses encore supérieures à celles déjà si remarquables qu'il réalise aujourd'hui.

M. le Président félicite bien sincèrement M. Hart pour les renseignements très intéressants qu'il vient de communiquer à lA'ssemblée. Il se fait l'interprète de la Société en lui adressant de vifs remerciements pour avoir bien voulu répondre à son appel, fait au dernier moment. Le succès qu'il a obtenu n'en est que plus flatteur.

M. Thareau demande à quelle date sera discutée la communication de M. de Marchena sur la *Traction mécanique des tramways*. C'est là un sujet tout d'actualité. Ainsi, le système Serpollet, essayé cette année sur les tramways Nord, va être essayé par la Compagnie des omnibus sur la ligne de la Porte Clignancourt à la Bastille.

M. Badois pense qu'il vaut mieux retarder cette discussion de quelques semaines afin que différents systèmes, actuellement à l'essai, aient fait leurs preuves, tel le tramway électrique du Havre et un nouveau système à air comprimé.

M. le Président s'occupera de fixer la date de cette discussion, afin qu'elle soit annoncée à l'avance et que les membres de la Société qui veulent y prendre part puissent s'y préparer.

Il est donné lecture des demandes d'admission de MM. L.-P. Delphieu, A. Gérard, J.-E.-C. Giraud, A. Julien, A.-J. Pagnard, J.-A.-M. Sarcia, E.-F. Simon et R.-L. Yvon comme membres sociétaires.

MM. E. Duchesne, M. Paré, F. Rahola-Puignau et M.-M. van Diest sont reçus comme membres sociétaires et M. E. A. Clavel comme membre associé.

La séance est levée à 10 heures et demie.

EXPOSITION DE LYON DE 1894

MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ

Faisant partie du Jury international des Récompenses (1)

Jury supérieur.

M. Mangini (L.), *Vice-Président.* M. Marchegay (A.), *Membre.*

Membres du Jury *(Groupes)* :

Groupe IV.

Classe 9.

MM. Carron (P.).
Darblay (P.).
Lamort (E.).
de Montgolfier (Ch.)

Groupe VI.

Classe 22.

MM. Gaget (E.), *P.*
Durenne (A.).

Classe 25.

MM. Grouvelle (P.-J.).
Luchaire (L.).

Classe 26.

Guilbert-Martin (A.)
Maës (G.).

Classe 28.

Garnier (P.).

Groupe VII.

Classe 31.

MM. Piat (A.-Ch.).
Pinat (A.).

Classes 32 et 40.

Coignet (A.).

Groupe VIII.

Classe 34.

MM. Japy (H.).
Picou (R.-V.).
Richard (J.).
Sarcia (J.-A.-M.).

Classe 35.

Boulet (J.).
Compère (Ch.).
Desjuzeur (M.).
Dufès (L.).
Seguin (A.).

Classe 36.

Bouhey (E.).
Cohendet (A.-V.-H.)
Mollet-Fontaine (J.-F.).
Levassor (E.-C.).
Panhard (R.).
Leblanc (J.).

Classe 38.

Arrault (P.).

Classe 39.

Brault (F.).
Egrot (A.).

Classe 41.

Simon (E.).

Classe 42.

Dehaitre (F.).
Elwell (J.).

Classe 43.

Baudet (E.).
Carré (F.).
Moreau (A.).
Pierron (E.-V.).

Classe 45.

Le Page (A.).

Groupe X.

Classes 50, 51 et 52.

MM. Léger (A.).
Francq (L.).
Simoneton (E.).

(1) Les abréviations employées sont les suivantes :
P., Président ; — *V.-P.*, Vice-Président ; — *R.*, Rapporteur ; — *S.*, Secrétaire.

EXPOSITION D'ANVERS DE 1894

MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ

Faisant partie du Jury international des Récompenses (1)

Groupe II.

Classe 6.

M. Monnier (D.).

Classe 7.

MM. Jacquemart (P.) *V.-P.*
Mesureur (J.).

Groupe III.

Classe 14 bis.

M. Guilbert-Martin (A.).

Groupe V.

Classe 16.

MM. Lesueur (G.) *V.-P.*
Petitjean (G.).
Dardenne (A.-E.).

Classe 17.

M. Simons (F.) *S.*

Classe 19.

MM. Gillon (A.) *P.*
Brunon (B.) *V.-P.*
d'Adelsward (b^on G.).
Jambille (L.).

Classes 20 et 21.

MM. Garnier (H.).
Muller (A.).

Groupe VI.

Classe 22.

MM. Dwelshauvers-Dery (V.) *P.*
Boulet (J.).
de Nansouty (M.).
Richemond (E.).

Classe 23.

MM. Ravasse (E.) *P.*
Le Blanc (J.).

Classe 24.

MM. Moyaux (L.).
Greiner (A.).

Groupe VII.

Classe 27.

M. Garnier (P.) *V.-P.*

Groupe VIII.

Classes 28 et 29.

MM. Hospitalier (E.) *S.*
Fontaine (H.).

Groupe IX.

Classe 30.

M. Duboul (A.) *R.*

Groupe XI.

Classes 44 et 45.

M. Somzée (L.) *P.*

Groupe XII.

Classe 46.

M. Lemoine (L.).

Groupe XIII.

Classe 50 bis.

M. Asselin (E.) *R.*

Groupe XIV.

Classe 52.

M. Lombart (J.-F.).

Classe 53.

M. Egrot (A.).

Classe 54.

M. Cirier-Pavard *V.-P.*

Groupe XV.

Classe 57.

M. Marsaux (A.-V.).

Groupe XVI.

Classe 58.

M. Trotabas (C.-A.).

Groupe XVII.

Classe 61.

MM. Camus (E.).
Portevin (H.).

(1) Les abréviations employées sont les suivantes :
P., Président ; — *V.-P.*, Vice-Président ; — *R.*, Rapporteur ; — *S.*, Secrétaire.

LOI

SUR LES

BREVETS D'INVENTION EN DANEMARK

PAR

M. Ch. CASALONGA

Le Danemark vient de se donner une nouvelle loi qui, promulguée le premier mai, est entrée en vigueur le premier juillet dernier.

Cette loi, bien que nouvelle, n'est pas précisément originale.

Le Danemark est un petit pays dont l'indépendance relative est constamment menacée par sa puissante voisine du sud, laquelle a plus d'une intelligence dans la place. Aussi la loi danoise a-t-elle plus d'un point de ressemblance avec la loi allemande sur la même matière.

L'esprit de cette loi se révèle dès la lecture du premier article.

Il ne sera pas accordé de brevets pour des inventions de *trop peu d'importance*.

Qui sera juge du peu d'importance de l'invention?

La Commission des brevets.

Ne pourront être brevetées les inventions concernant les *remèdes*, les *produits alimentaires*, les *boissons*, et ce qui est bien fait pour surprendre davantage, les **procédés** ayant pour objet la préparation des denrées alimentaires.

On peut faire ici la remarque curieuse que cette rigueur est surtout préjudiciable aux intérêts du Danemark lui-même.

En effet, une industrie des plus importantes de ce pays est celle de la *fabrication* du beurre et de nombreux appareils qui commencent à se répandre chez nous se créent tous les jours pour suivre et activer le développement de cette industrie d'une importance capitale.

Eh bien! de par l'article premier, il ne sera plus possible d'être garanti en Danemark pour un procédé de fabrication du beurre, et voilà de ce fait une industrie qui peut être complètement arrêtée dans son élan.

On ne s'explique guère le sentiment qui a guidé les législateurs, car de deux choses l'une : ou la garantie des inventions est bonne pour le développement de toutes les industries et toutes doivent être également admises à cette garantie, ou elle est pernicieuse et toutes doivent en être affranchies.

Le même article premier ne dit pas si les *procédés* pour la préparation des *remèdes* sont également proscrits, mais cela semble résulter *a fortiori*, et cependant, contradiction étrange, les *produits chimiques* exclus de la brevetabilité en Suisse et en Allemagne, qui peuvent quelquefois confiner aux remèdes pharmaceutiques et même à certaines denrées alimentaires, ne sont pas mentionnés parmi les inventions à exclure, et non plus les procédés d'obtention de ces produits.

D'après l'article 2, des brevets peuvent être accordés — bien entendu à des tiers quoique cela ne soit pas précisé dans la loi — pour des modifications à des inventions déjà brevetées, si, toutefois, ces modifications sont jugées — toujours par la Commission des brevets — *assez importantes en elles-mêmes* pour être considérées comme des inventions.

Cet article reflète à un plus haut point l'esprit de contrôle, d'examen et d'appréciation que le législateur danois a voulu donner à la Commission.

Non seulement, celle-ci aura à juger, *ipso facto*, si l'invention est *assez importante* en elle-même, mais encore si elle se rattache aux moyens qui font l'objet d'une invention déjà brevetée.

L'article 3 exprime trois idées principales d'ordres différents.

1° Le droit au brevet appartient exclusivement à l'inventeur, ou à la personne à qui ce droit aura été *légalement* transféré. Les créanciers ne peuvent, à titre de recouvrement, prétendre au droit d'obtention du brevet, mais ils peuvent avoir recours, sur les droits que confère un brevet délivré.

2° « Lorsque plusieurs personnes auront demandé simultanément un brevet, — pour une même invention, ou pour des inventions essentiellement les mêmes, — celle qui aura déposé sa demande la première aura la priorité de l'invention ».

3° Aucun fonctionnaire de l'État ne peut, durant son service, et les trois années qui suivront sa retraite, obtenir, sans le consentement du ministre dont il dépend, un brevet pour une invention à la réalisation complète ou partielle de laquelle il est censé être arrivé par son travail au compte de l'État.

Ainsi un brevet est un titre saisissable sans qu'on aperçoive le moyen de procéder.

Un brevet est délivré au premier demandeur, sans que le cas de fraude soit prévu.

Un fonctionnaire n'a pas droit au brevet, et le produit de sa pensée est confisqué au profit de l'État.

La taxe est déterminée par l'article 7. Elle est progressive par périodes de trois années. Elle est de 25 couronnes (1) pour la première période, 50 pour la deuxième, 100 pour la troisième, 200 pour la quatrième et 300 pour la cinquième, la durée totale étant de quinze ans.

Un sursis est accordé pour le paiement des annuités avec une amende de 1/5 de la taxe. La durée de ce sursis est de trois mois.

Les annuités peuvent être payées par anticipation, et si avant l'expiration du brevet celui-ci venait à être abandonné, les annuités non échues sont remboursées.

C'est une sécurité pour l'inventeur quand il peut employer ce procédé.

Nous ne croyons pas qu'en France cela soit impossible à faire, mais cela présente quelques risques, le principe de l'Administration des finances étant de ne rembourser que lorsqu'il ne peut y avoir d'affectation pour les sommes versées.

L'Administration danoise adresse en outre un avis au brèveté par lettre recommandée un mois après l'échéance.

L'article 8 admet le principe de l'expropriation pour cause d'utilité publique.

L'article 9 dit que les demandes de brevet sont soumises à une Commission — (de cinq membres) — qui les examine et prend *toutes les décisions*. C'est la consécration absolue du principe de l'examen préalable, avec sa Commission d'examen, son bureau, ses appels, etc., ses ennuis, ses longueurs, et par-dessus tout ses incertitudes.

Il n'y a pas lieu de recommencer ici le procès de l'examen préalable; mais il peut être bon néanmoins de mentionner des faits qui donneront une idée des bienfaits de ce moyen.

Un inventeur dépose une demande. Le bureau allemand dresse aussitôt son arsenal d'objections, de refus, d'appels, etc. L'inventeur répond, discute pendant dix mois, ce qui est peu; finalement la patente est accordée; mais à ce moment, peu satisfait

(1) La couronne vaut 1,39 *f*.

des résultats pratiques de son invention, l'inventeur y renonce, réduisant ainsi à néant tous les travaux de la Commission allemande.

Une autre fois, ce même bureau a refusé de délivrer une patente pour une invention d'une réelle valeur, en se basant sur ce que ce qui faisait l'objet de la demande aurait pu facilement être *trouvé par un homme du métier.*

Ce n'est pas tout à fait, mais c'est un peu ce que la loi danoise qualifie *d'invention de trop peu d'importance.*

L'examen préalable ne tardera pas à produire en Danemark les mêmes graves inconvénients que dans les autres pays où il a été adopté, soi-disant pour protéger l'inventeur, en réalité pour le régenter et entraver ses facultés créatrices en même temps que le développement de l'industrie dont on prétend défendre ainsi les intérêts.

Il n'est pas jusqu'à la Suisse, dont la loi n'a cependant pas admis l'examen préalable, où l'examinateur ne l'exerce sous une autre forme, en transformant, amendant, corrigeant les demandes, même au point de vue du choix des titres, des mots et du style.

La partie suivante de la loi danoise est presque identique à la loi allemande, quant aux délais et formalités de publication, d'opposition suivant l'accord, ou d'appels suivant le premier refus.

Les décisions de la Commission sont passibles d'appels; le dernier peut arriver, moyennant le versement d'une taxe de 100 couronnes qui sera remboursée si le demandeur à gain de cause, jusqu'au ministre de l'Intérieur.

Une Commission d'un président et de quatre membres statue en dernier ressort.

On voit que l'appel des décisions de la Commission reste exclusivement administratif. L'appel aux tribunaux n'existe pas.

Le titre III et dernier concerne principalement les cas de déchéances, nullité, de contrefaçon, lesquels sont de la compétence des tribunaux. Un contrefacteur condamné *doit* non seulement indemniser le breveté lésé, mais lui livrer — contre remboursement ou à valoir sur l'indemnité due — les objets reconnus contrefaits.

L'article 23 vise la déchéance du brevet par défaut de paiement des annuités naturellement, et surtout si dans le délai de trois ans, à dater de la délivrance, l'inventeur n'a pas encore exploité son invention en Danemark, ou si ayant commencé l'exploitation, il l'a suspendue pendant plus d'un an.

Il faut dire que nous attendions la nouvelle loi danoise, pour voir comment elle résoudrait cette question délicate de l'exploitation.

La loi danoise ne la résout pas; il semble que les législateurs se soient trouvés pris dans une espèce de filet dont les mailles ne leur permettaient pas de sortir d'une limite déterminée.

Ils ont pourtant tenté quelque chose, et cela est mis en évidence par deux paragraphes de cet article 23.

D'abord les délais prescrits peuvent être prolongés par la Commission, s'il est prouvé que l'exploitation a été empêchée par des circonstances indépendantes de la volonté de l'inventeur.

Mais ce qui est plus important, c'est que la Commission peut même dispenser l'inventeur de l'obligation de faire fabriquer en Danemark l'objet breveté, s'il appert que les frais de cette fabrication sont hors de proportions raisonnables avec la consommation du pays, à condition toutefois que l'inventeur ait soin de tenir ledit objet en vente à la disposition du public.

Ceci est un point de vue nouveau et très intéressant pour la majorité des inventions.

Les brevets obtenus antérieurement à la promulgation de la présente loi peuvent être remis sous son régime, si la demande en est faite dans les trois ans qui auront suivi la promulgation. Enfin la loi danoise accorde six mois de privilège à tout demandeur ayant fait figurer son invention dans une exposition internationale, et sept mois à tout breveté étranger, ce qui correspond à son accession à la Convention internationale de 1884.

La loi danoise, comme la plupart de celles où domine l'esprit de résistance à la brevetabilité des inventions et surtout de certaines inventions, est un peu dure; il faut dire toutefois, à sa louange, que si elle a adopté l'examen préalable, elle a cherché à en réparer les inconvénients, non seulement en permettant les appels et la discussion, mais encore en exonérant le demandeur de toute taxe de ce fait; sauf de celle qui lui permet de porter le conflit devant la Commission ministérielle. Encore cette taxe lui sera-t-elle remboursée s'il gagne son *procès*.

Il est vrai que l'inventeur a à compter encore avec d'autres difficultés. Recherche des documents qui lui sont opposés; traduction, étude, comparaison, mémoire discuté, traduction dudit mémoire, etc., etc... Tout cela pour obtenir un brevet qui n'est même pas garanti, ou qu'il est souvent tout prêt à abandonner peu après l'avoir obtenu.

La loi danoise prive les fonctionnaires de l'État du droit au brevet. C'est peut-être bien un peu excessif. L'invention est une propriété toute personnelle, elle ne doit pas dépendre de la fonction, mais du mandat.

Que l'État puisse faire valoir, dans certains cas, un certain droit d'usage, cela peut s'admettre ; mais supprimer le droit d'inventeur, c'est supprimer celui de penser ! !

Ceci est d'autant moins équitable que l'État ne peut pas, lui, demander un brevet. Alors que devient l'invention? A qui profite-t-elle? A tout le monde ou à personne!

Aucune loi sur les brevets d'invention ne sera équitable, si elle n'est conçue sous la pensée primordiale que l'invention est un bienfait, propre à favoriser le progrès et que celui qui apporte un tel bienfait à la société doit être protégé, tout en réservant les droits de ceux qui connaissaient l'invention ou s'en servaient.

C'est un peu sur ce principe, grâce à Dieu, que fut établie la loi française de 1844, malgré les imperfections qui y furent introduites par des esprits qui, ne pouvant supprimer l'inventeur, cherchent au moins à l'entraver et après lui avoir forcément octroyé quelque chose, à le lui reprendre. Il suffit de se reporter aux débats parlementaires, récemment mis en lumière par un avocat distingué, M. Cl. Couhin, pour voir avec quelle hauteur de vue l'illustre Arago obligeait ses collègues de la Chambre à considérer comme inventions la *condensation*, que Watt avait effectuée dans un vase *séparé* du cylindre, la lampe que Davy proposait d'adopter pour se garer du grisou, bien qu'elle fût connue avant lui ; le zincage des tuyaux en tôle, connu depuis près de cent ans, mais dont *Sorel* avait affirmé et promis une efficacité à laquelle on ne croyait pas.

Les services rendus, voilà ce qu'Arago voulait que l'on encourageât, et nous pensons qu'il avait raison.

ÉTUDE ÉCONOMIQUE ET JURIDIQUE

SUR

LES GRÈVES

PAR

M. G. FÉOLDE

DOCTEUR EN DROIT, INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
AVOCAT A LA COUR D'APPEL DE PARIS

SOMMAIRE

Prin[illegible]e de la liberté du travail. — Droit de coalition. — Nombre des grèves. — Causes de[illegible]rèves; *grèves provoquées par l'application de la loi du 2 novembre 1892 ; coalitions de[illegible]trons.* — Conséquences juridiques des grèves; *rupture du contrat de travail; la g[illegible] ne doit pas être déclarée brusquement; indemnité pour rupture du contrat de t[illegible]il; atteintes à la liberté du travail; violences contre les personnes et les propriétés; l[illegible]ève n'est pas toujours un cas de force majeure que peut invoquer le patron envers [illegible]iers; mise à l'index.* — Nombre des grévistes et des établissements où il y a eu [illegible]rèves. — Résultats des grèves au point de vue du succès des grévistes. — Résultats [illegible]grèves d'après leur durée. — Nombre, durée et résultats des grèves d'après le nombre [illegible]grévistes. — Nombre de journées de travail chômées. — Grèves suivant la nature [illegible]'industrie. — Moyens d'atténuer les maux causés par les grèves; *les grèves sont des [illegible]dents de la guerre entre le Capital et le Travail; les grèves sont produites par le conflit [illegible]térêts privés.* — Loi du 27 décembre 1892 sur la conciliation et l'arbitrage en [illegible]ière de différends collectifs entre patrons et ouvriers; *caractère de la loi; condi[illegible]s d'application de la loi: procédure pour la formation du comité de conciliation; [illegible]ination des délégués: Comité de conciliation; arbitrage; droit d'initiative du juge [illegible]aix; procès-verbaux, timbre, enregistrement; affichage; frais de conciliation et d'ar[illegible]ge; résultats de l'application de la loi; texte de la loi.* — Conseils permanents de [illegible]iliation; *Conseil permanent de conciliation de la papeterie; Commission arbitrale [illegible]atrons et ouvriers typographes de Rouen.*

La [illegible]e est une cessation concertée, totale ou partielle, du t[illegible]ns un atelier ou sur un chantier, survenue, en général, [illegible]a [illegible]te d'un désaccord entre le patron et ses ouvriers. Tantôt [illegible]t les ouvriers qui abandonnent leur travail, tantôt ce sont les patrons qui le font cesser en prononçant le *lock out*, c'est-à-dire la fermeture de l'atelier.

Les grèves sont un des plus redoutables fléaux de l'industrie; elles constituent, d'après les idées actuellement en cours, un véritable état de guerre entre ouvriers et patrons. C'est donc une situation toute provisoire pendant laquelle chacun peut être amené à faire le plus de mal possible à son adversaire pour lui imposer plus rapidement sa volonté. Pour les nations, l'état de guerre ne peut durer longtemps sans provoquer de lourds sacrifices qui conduisent à la ruine, même après de grandes victoires;

il en est de même pour les grèves. Le patron, qui résiste aux prétentions de ses ouvriers, voit, par suite de la cessation du travail, ses bénéfices diminuer et même disparaître, sa clientèle se disperser, tandis que ses frais généraux continuent à courir ; l'ouvrier, de son côté, ne touchant plus de salaire, est contraint de vivre sur ses économies, puis de faire des dettes. Dans bien des localités, on peut déjà relever la disparition d'industries, jadis prospères, et qui ont disparu à la suite des grèves.

L'étude des grèves s'impose donc, car c'est le seul moyen de savoir ce qu'elles sont, les maux qu'elles amènent à leur suite, ce que l'on peut tenter, soit pour les conjurer, soit pour amoindrir leurs effets désastreux.

Principe de la liberté du travail.

Depuis la Révolution de 1789, la liberté du travail a été plusieurs fois proclamée dans nos lois et dans les diverses constitutions qui nous ont régis.

A compter du premier avril prochain (1792), il sera libre à toute personne de faire tel négoce, ou d'exercer telle profession, art ou métier qu'elle trouvera bon. — *Article 7 du décret des 2-17 mars 1791.*

Nul genre de travail, de culture, de commerce, ne peut être interdit à l'industrie des citoyens. — *Article 17 de la Constitution du 24 juin 1793.*

Il n'y a ni privilège, ni maîtrise, ni jurande, ni limitation à la liberté de la presse, du commerce, et à l'exercice de l'industrie et des arts de toute espèce. — *Article 355 de la Constitution du 5 fructidor an III (22 août 1795).*

La Constitution garantit aux citoyens la liberté du travail et de l'industrie. — *Article 13 de la Constitution du 4 novembre 1848.*

Dans l'état actuel de notre législation, la liberté du travail est pleine et entière et l'on peut dire : « Travaille qui veut ; ne travaille pas qui ne veut pas. » De même : « Fait travailler qui veut ; ne fait pas travailler qui ne veut pas. »

Ce principe de la liberté du travail doit s'entendre, en ce sens, que l'on ne peut astreindre un ouvrier à s'embaucher dans un atelier, malgré sa volonté contraire formellement exprimée, un patron à prendre des ouvriers qui ne lui conviennent pas. Mais, quand un ouvrier s'est librement engagé à faire un travail, il a contracté une obligation, il doit exécuter ce travail ; de même, un patron ne peut congédier un ouvrier avant le temps convenu,

s'il n'a des motifs sérieux pour agir de la sorte, autrement l'ouvrier, le patron manquent à leurs engagements et ils peuvent avoir à payer de ce chef une indemnité en rapport avec le préjudice ainsi causé. Il ne saurait être ici question du principe de la liberté du travail, on est en présence d'un contrat librement consenti au moment de sa formation et inexécuté plus tard par l'une des parties.

Droit de coalition.

Abandonné à lui-même, l'ouvrier ne peut résister aux exigences de son patron, il devra toujours subir sa loi, tant mieux si elle est bonne, tant pis si elle est mauvaise. A la rigueur, il pourrait quitter son patron, mais il sait bien que dans d'autres ateliers il rencontrerait les mêmes abus d'autorité et peut-être d'autres encore, aussi se résignera-t-il à les subir pour pouvoir gagner sa vie.

Réduit à ses propres forces, l'ouvrier ne pourra pas facilement améliorer son sort; uni à ses camarades, il trouvera, dans cette union, une force qu'il n'aurait jamais pu avoir autrement. L'ouvrier a donc grand intérêt à pouvoir s'entendre avec ses camarades. En effet, si tous les ouvriers d'un atelier ou d'un chantier, agissant d'un commun accord, présentent simultanément à leur patron les mêmes réclamations, il en résulte pour ce dernier une situation qui exige une grande prudence. Rien n'est plus aisé pour un patron que de congédier un ouvrier récalcitrant, mais s'il est facile de remplacer un ouvrier dans un atelier, dans presque toutes les industries, il est très difficile, sinon impossible, de renvoyer d'un seul coup tous ses ouvriers et de les remplacer immédiatement par d'autres. Conséquence : une réclamation isolée a grande chance d'être repoussée; une réclamation collective a grande chance de réussir. Il faut le reconnaître, sans le droit de se concerter entre eux et d'agir en commun, c'est-à-dire sans le droit de coalition, la liberté du travail n'est qu'un leurre pour les ouvriers comme pour les patrons.

Pendant longtemps il fut difficile pour les intéressés de se concerter en vue de préparer une grève, car le fait d'organiser une coalition ou d'en faire partie était considéré comme un délit par nos lois pénales. Or, une coalition, c'est l'union de plusieurs personnes dont les intérêts concordent sur un ou plusieurs points et qui poursuivent le même but en commun.

Toute coalition entre ceux qui font travailler des ouvriers, tendant à forcer injustement et abusivement l'abaissement des salaires, suivie d'une tentative ou d'un commencement d'exécution, sera punie d'un emprisonnement de six jours à six mois, et d'une amende de 200 *f* à 3 000 *f*. — *Article 414 du Code pénal de 1810.*

Toute coalition de la part des ouvriers pour faire cesser en même temps de travailler, interdire le travail dans un atelier, empêcher de s'y rendre ou d'y rester avant ou après certaines heures, et en général pour suspendre, empêcher, enchérir les travaux, s'il y a eu tentative ou commencement d'exécution, sera punie d'un emprisonnement d'un mois au moins et de trois mois au plus. Les chefs ou moteurs seront punis d'un emprisonnement de deux à cinq ans. — *Article 415 du Code pénal de 1810.*

Seront aussi punis de la peine portée par l'article précédent et d'après les mêmes distinctions, les ouvriers qui auront prononcé des amendes, des défenses, des interdictions, ou toutes prescriptions sous le nom de damnations et sous quelque qualification que ce puisse être, soit contre les directeurs d'ateliers et entrepreneurs d'ouvrages, soit les uns contre les autres. — Dans le cas du présent article et dans celui du précédent, les chefs ou moteurs du délit pourront, après l'expiration de leur peine, être mis sous la surveillance de la haute police pendant deux ans au moins et cinq ans au plus. — *Article 416 du Code pénal de 1810.*

Les ouvriers pouvaient cependant organiser des grèves, la simple nomination de délégués appelés à servir d'organes aux coalisés auprès des patrons, et à recevoir et transmettre les propositions faites en vue d'un rapprochement, n'impliquait pas l'existence d'une association prohibée (1)

Les articles 414, 415 et 416 du Code pénal de 1810 furent abrogés et remplacés par un autre texte par la loi du 27 novembre 1849.

Sera punie d'un emprisonnement de six jours à trois mois et d'une amende de 16 *f* à 10 000 *f* : — 1° Toute coalition entre ceux qui font travailler des ouvriers, tendant à forcer l'abaissement des salaires, s'il y a eu tentative ou commencement d'exécution; — 2° Toute coalition de la part des ouvriers pour faire cesser en même temps de travailler, interdire le travail dans un atelier, empêcher de s'y rendre avant ou après certaines heures, et, en général, pour suspendre, empêcher, enchérir les travaux, s'il y a eu tentative ou commencement d'exécution. — Dans les cas prévus par les deux paragraphes précédents, les chefs ou moteurs seront punis d'un emprisonnement de deux à cinq ans. — *Article 414 du Code pénal modifié par la loi du 27 novembre 1849.*

Seront aussi punis des peines portées par l'article précédent, et d'après les mêmes distinctions, les directeurs d'ateliers ou entrepreneurs d'ouvrage et les ouvriers qui, de concert, auront prononcé des amendes autres que celles qui ont pour objet la discipline intérieure de l'atelier,

(1) Jurisprudence générale de Dalloz, Ouvriers, 142.

des défenses, des interdictions, ou toutes prescriptions sous le nom de damnations ou sous quelque qualification que ce puisse être, soit de la part des directeurs d'atelier ou entrepreneurs contre les ouvriers, soit de la part de ceux-ci contre les directeurs d'atelier ou entrepreneurs, soit les uns contre les autres. — *Article 415 du Code pénal modifié par la loi du 27 novembre 1849.*

Dans les cas prévus par les deux articles précédents, les chefs ou moteurs pourront, après l'expiration de leur peine, être mis sous la surveillance de la haute police pendant deux ans au moins et cinq ans au plus. — *Article 416 du Code pénal modifié par la loi du 27 novembre 1849.*

La sévérité de la législation n'empêchait pas les grèves, elles étaient même très nombreuses. De 1853 à 1862 inclus, le ministère public poursuivit 749 coalitions d'ouvriers, comprenant 4 522 prévenus, dont 613 furent acquittés, et 89 coalitions de patrons englobant 629 prévenus, dont 237 furent acquittés; en outre, il y eut un commencement de poursuites pour 1427 coalitions, ce qui fait une moyenne de 220 par an. Dans la crainte d'augmenter l'irritation et de rendre les rapprochements plus difficiles, les magistrats s'abstenaient de toute intervention répressive; quand des poursuites avaient lieu, ils ne prononçaient que des condamnations très légères dont l'empereur accordait la grâce immédiatement (1).

La loi du 25 mai 1864 a changé à nouveau les dispositions contenues dans les articles 414, 415 et 416 du Code pénal, en les remplaçant par des textes accordant aux patrons et aux ouvriers une liberté beaucoup plus grande. La situation juridique, faite par la législation, présentait une anomalie singulière, ainsi que le constatait l'exposé des motifs de la loi de 1864. Ce qui était licite pour l'individu, ce qui était licite pour plusieurs agissant simultanément, mais sans concert, devenait illicite et condamnable, parce que ceux qui avaient le même intérêt et les mêmes besoins et qui avaient entre eux les liens naturels qu'amène cette communauté de besoins et d'intérêts, s'étaient concertés pour agir ensemble librement et arrêter pacifiquement une résolution commune.

Sera puni d'un emprisonnement de six jours à trois ans et d'une amende de 16 *f* à 3 000 *f*, ou de l'une de ces deux peines seulement, quiconque, à l'aide de violences, voies de fait, menaces ou manœuvres frauduleuses, aura amené ou maintenu, tenté d'amener ou de maintenir une cessation concertée de travail, dans le but de forcer la hausse

(1) Office du Travail, *De la conciliation et de l'arbitrage dans les conflits collectifs entre patrons et ouvriers*, page 496.

ou la baisse des salaires, ou de porter atteinte au libre exercice de l'industrie ou du travail. — *Article 214 du Code pénal modifié par la loi du 25 mai 1864, actuellement en vigueur.*

Lorsque les faits punis par l'article précédent auront été commis par suite d'un plan concerté, les coupables pourront être mis, par l'arrêt ou le jugement, sous la surveillance de la haute police pendant deux ans au moins et cinq ans au plus. — *Article 415 du Code pénal modifié par la loi du 25 mai 1864, actuellement en vigueur.*

Seront punis d'un emprisonnement de six jours à trois mois et d'une amende de 16 *f* à 300 *f*, ou de l'une de ces deux peines seulement, tous ouvriers, patrons et entrepreneurs d'ouvrage qui, à l'aide d'amendes, défenses, proscriptions, interdictions prononcées par suite d'un plan concerté, auront porté atteinte au libre exercice de l'industrie et du travail. — *Article 416 du Code pénal, modifié par la loi du 25 mai 1864, abrogé par la loi du 21 mars 1884.*

En vertu de la loi du 25 mai 1864, le fait d'organiser une coalition cessa d'être un délit. Le droit de coalition se trouvait donc reconnu, les intéressés pouvaient donc se concerter pour faire hausser ou baisser les salaires sans s'exposer à des poursuites judiciaires. Cependant si le droit de coalition était reconnu, on ne pouvait facilement l'exercer, à cause des dispositions de l'article 291 et suivants du Code pénal.

Nulle association de plus de vingt personnes, dont le but sera de se réunir tous les jours ou à certains jours marqués pour s'occuper d'objets religieux, littéraires, politiques ou autres, ne pourra se former qu'avec l'agrément du Gouvernement, et sous les conditions qu'il plaira à l'autorité publique d'imposer à la société. Dans le nombre des personnes indiquées par le présent article, ne sont pas comprises celles domiciliées dans la maison où l'association se réunit. — *Article 291 du Code pénal.*

Les dispositions de l'article 291 du Code pénal sont applicables aux associations de plus de vingt personnes, alors même que ces associations seraient partagées en sections d'un nombre moindre, et qu'elles ne se réuniraient pas tous les jours ou à des jours marqués. L'autorisation donnée par le Gouvernement est toujours révocable. — *Article premier de la loi du 10 avril 1834, sur les associations.*

Il fallait donc que les intéressés à amener un mouvement dans les salaires, qu'ils fussent patrons ou qu'ils fussent ouvriers, aient, au préalable, demandé au Gouvernement l'autorisation de se réunir pour pouvoir délibérer en commun et prendre une résolution sur la conduite à tenir. En somme, le droit de coalition était reconnu, mais en fait son exercice était laissé au bon plaisir du Gouvernement, car il pouvait à son gré accorder ou refuser l'autorisation

qui lui était demandée. On ne tarda pas à s'apercevoir de cette situation bizarre.

En 1865, les ouvriers veloutiers de Saint-Étienne, comptant sur la liberté nouvellement octroyée, avaient voté la cessation du travail, dans une réunion autorisée, et nommé un comité de seize membres chargés de diriger la grève. Six des membres de ce comité furent traduits en police correctionnelle et condamnés pour association illicite. Le jugement fut confirmé par la Cour d'appel et la Cour de Cassation. En 1867, les ouvriers tailleurs de Paris furent, par les mêmes motifs, poursuivis et condamnés, après s'être vu refuser l'autorisation de se réunir (1). A ce sujet la Cour de Cassation a rendu deux arrêts qui méritent d'être reproduits en partie.

La liberté de se coaliser, rétablie par la loi du 25 mai 1864, qui a modifié à cet égard les articles 414, 415 et 416 du Code pénal, n'implique pas le droit de s'associer pour organiser et maintenir la coalition; les coalisés ne peuvent, par suite, former dans ce but des associations de plus de vingt personnes, qu'avec l'autorisation de l'Administration (2).

Il y a lieu de considérer comme une association véritable, délictueuse à défaut d'autorisation du Gouvernement, l'organisation acceptée par des ouvriers en grève qui, divisant ceux-ci en sections, établit un comité central chargé de fonctionner comme autorité dirigeante et de correspondre avec les sections par l'intermédiaire de délégués, ce comité fût-il formé de moins de vingt personnes (3).

L'article premier, ainsi conçu, de la loi du 21 mars 1884 sur les syndicats professionnels, vint faire disparaître ces entraves :

« Sont abrogés la loi des 14-27 juin 1791 et l'article 416 du Code pénal. Les articles 291, 292, 293, 294 du Code pénal et de la loi du 18 avril 1834 ne sont pas applicables aux syndicats professionnels. »

Un point important est donc acquis maintenant, le droit de coalition existe et rien ne s'oppose plus à son exercice.

(1) Office du Travail. *De la conciliation et de l'arbitrage*, page 499.
(2) Cass., 23 février 1866; *Dalloz*, 66, 1, 89; Cass., 7 février 1868; *Dalloz*, 68, 1, 415.
(3) Cass., 23 février 1866; *Dalloz*, 66, 1, 89.

Nombre des grèves.

Nous nous servirons dans notre étude des données de statistique que nous avons trouvées dans les publications de l'*Office du Travail* pour les années 1890, 1891, 1892, 1893 et 1894 (1) et dans l'excellente étude faite par M. V. Turquan, intitulée *Statistique des grèves ouvrières depuis 1852*, publiée dans le *Génie Civil*, tome XVIII, pages 341 et 352. Cette étude s'étend jusqu'à l'année 1889 inclusivement.

1852. . . .	1	1868. . . .	26	1883. . . .	141
1853. . . .	4	1869. . . .	25	1884. . . .	89
1856. . . .	3	1870. . . .	26	1885. . . .	108
1857. . . .	9	1871. . . .	12	1886. . . .	160
1858. . . .	12	1872. . . .	7	1887. . . .	108
1859. . . .	10	1873. . . .	1	1888. . . .	110
1860. . . .	28	1874. . . .	21	1889. . . .	321
1861. . . .	25	1875. . . .	27	1890. . . .	313
1862. . . .	24	1876. . . .	48	1891. . . .	267
1863. . . .	15	1877. . . .	30	1892. . . .	261
1864. . . .	19	1878. . . .	33	1893. . . .	634
1865. . . .	15	1879. . . .	55	1894 (2) . .	281
1866. . . .	21	1880. . . .	72		
1867. . . .	25	1882. . . .	182		

La loi de 1864 a eu peu d'influence sur le développement des grèves, il n'en a pas été de même de celle de 1884. Si l'on voit le nombre des grèves augmenter d'une façon très sensible à partir de 1880, cela tient à ce qu'en 1880 un projet de loi fut déposé sur les bureaux de la Chambre par M. Cazot, Ministre de la Justice, concernant les associations syndicales, et qu'ainsi les ouvriers eurent en pratique de plus grandes facilités que précédemment pour se concerter au sujet de la défense de leurs intérêts.

Les grèves augmentent sensiblement dans les époques de crise, comme cela a lieu dans la période de 1881 à 1886, de même dans les époques de prospérité, comme en 1889, et aussi dans les époques d'agitation politique comme en 1893.

Le tableau suivant, formé avec les chiffres que l'Office du Travail a pu réunir, caractérise l'importance des grèves par année (3).

(1) Le *Bulletin de l'Office du Travail* ne donne les chiffres relatifs à 1894 que comme provisoires.

(2) Jusqu'au mois de septembre inclusivement.

(3) *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 516.

ANNÉES	Nombre de grèves	Nombre de grévistes par grève	Nombre moyen d'établissements atteints par chaque grève	Durée moyenne des grèves	Nombre moyen estimatif des journées de travail chômées — par grève	Nombre moyen estimatif des journées de travail chômées — par gréviste
				journées	journées	journées
1893.	634	268	6,9	13	5 000	18
1892.	261	183	1,8	16	3 740	19
1891.	267	408	1,5	18	»	»
1890.	313	380	2,6	16	»	»
Moyennes pour les périodes :						
1890-1893	368	302	4,1	15	4 690	19
1886-1889	175	192	»	12	4 300	24
1882-1885	131	243	»	16	5 570	23
1874-1880 (1).	40	513	»	16	4 070	31
1856-1870 (2).	18	»	»	»	»	»

(1) Aucun relevé n'a été fait en 1881.

(2) En 1871, 1872 et 1873, il n'a été relevé que 20 grèves.

On voit que le nombre des grèves va en augmentant, tandis que celui des grévistes par grève semblerait devoir aller en diminuant ; la durée moyenne des grèves reste sensiblement constante.

Il est intéressant de rechercher comment les grèves se répartissent pendant les divers mois de l'année.

	De 1852 à 1889	1890	1891	1892	1893	1894
	—	—	—	—	—	—
Janvier. . . .	155	6	14	22	70	26
Février. . . .	121	10	13	25	55	24
Mars.	195	27	16	27	44	37
Avril.	250	29	26	35	112	34
Mai	218	84	44	23	122	28
Juin	191	39	48	18	61	33
Juillet	180	40	26	11	33	30
Août.	117	21	18	22	32	25
Septembre . .	83	21	22	14	29	24
Octobre. . . .	133	13	12	10	31	»
Novembre. . .	100	10	13	27	28	»
Décembre. . .	80	13	14	27	17	»

Le tableau ci-dessous permet de constater, ainsi que le précédent, que les grèves sont plus nombreuses pendant la première moitié de l'année, et notamment au printemps, qu'aux autres époques de l'année. Ce n'est pas au moment où l'industrie tra-

vaille en général le plus activement, mais c'est au moment où il est le plus facile aux ouvriers de soutenir la lutte assez longtemps, que se manifestent particulièrement les grèves (1).

ANNÉES	Pourcentage des grèves qui se sont produites pendant le				Pourcentage des grévistes engagés dans les grèves qui se sont produites pendant le			
	1er trimestre	2e trimestre	3e trimestre	4e trimestre	1er trimestre	2e trimestre	3e trimestre	4e trimestre
	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
1893	27	46	15	12	18	42	34	6
1892	28	29	18	25	29	22	22	27
1891	16	44	25	15	12	21	19	48
1890	14	48	26	12	9	76	10	5
Moyennes pour les périodes :								
1890-1893	22	43	20	15	15	44	22	19
1882-1885	25	33	21	21	»	»	»	»
1874-1880	22	36	22	20	»	»	»	»

Examinons maintenant comment les grèves se répartissent par département.

	De 1852 à 1889	1890 (2)	1891 (3)	1892 (4)	1893
Ain	2	4	2	»	2
Aisne	51	12	7	3	8
Allier	5	3	2	4	1
Alpes (Basses-)	2	»	»	1	»
Alpes (Hautes-)	»	»	»	1	1
Alpes-Maritimes	7	»	1	»	»
Ardèche	14	5	5	2	16
Ardennes	42	16	28	10	10
Ariège	2	»	»	1	1
Aube	15	3	3	4	»
Aude	6	»	1	1	5
Aveyron	19	2	1	2	8
Bouches-du-Rhône	41	9	6	»	27
Calvados	11	»	2	2	2
Cantal	»	»	»	»	»
Charente	»	2	5	»	6

(1) *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 518.

(2) Une grève s'est étendue à 2 départements, en sorte que le total des chiffres ci-dessus est d'une unité supérieure au nombre total des grèves.

(3) Une grève s'étant étendue sur 12 départements et 2 grèves sur 2 départements, le total des chiffres ci-dessus est supérieur de 13 unités au nombre total des grèves.

(4) Une grève s'étant étendue sur 3 départements, le total des chiffres ci-dessus est supérieur de 2 unités au nombre total des grèves.

	De 1852 à 1889	1890	1891	1892	1893
	—	—	—	—	—
Charente-Inférieure	3	1	1	2	4
Cher	19	2	1	8	9
Corrèze	2	»	»	»	7
Corse	4	»	»	2	1
Côte-d'Or	3	1	1	2	4
Côtes-du-Nord	1	»	»	2	2
Creuse	4	1	»	»	1
Dordogne	»	»	3	1	2
Doubs	9	»	»	3	»
Drôme	5	»	»	»	4
Eure	7	1	»	1	1
Eure-et-Loir	1	»	»	»	1
Finistère	4	»	»	1	2
Gard	22	6	1	2	6
Garonne (Haute-)	8	4	3	2	8
Gers	»	1	»	»	1
Gironde	43	6	7	4	20
Hérault	14	6	3	7	5
Ille-et-Vilaine	20	2	9	3	1
Indre	3	2	1	2	1
Indre-et-Loire	34	»	1	5	4
Isère	54	8	2	1	8
Jura	3	»	»	1	»
Landes	1	1	»	»	»
Loir-et-Cher	7	»	»	3	»
Loire	84	20	11	6	14
Loire (Haute-)	4	6	2	»	3
Loire-Inférieure	38	5	1	2	46
Loiret	3	»	3	2	»
Lot	3	»	»	»	»
Lot-et-Garonne	3	»	1	2	1
Lozère	»	»	»	»	»
Maine-et-Loire	18	6	7	8	11
Manche	7	»	1	»	1
Marne	56	12	9	11	18
Marne (Haute-)	7	»	»	1	»
Mayenne	2	1	»	1	»
Meurthe-et-Moselle	5	2	1	3	9
Meuse	12	2	»	1	1
Morbihan	1	1	1	6	1
Nièvre	17	2	3	4	9
Nord	405	61	68	54	121
Oise	14	1	1	7	5
Orne	3	1	2	»	2
Pas-de-Calais	53	11	6	10	18
Puy-de-Dôme	3	2	1	»	»
Pyrénées (Basses-)	4	»	1	»	»

	De 1852 à 1889	1890	1891	1892	1893
	—	—	—	—	—
Pyrénées (Hautes-). . . .	»	»	»	1	3
Pyrénées-Orientales . . .	2	»	»	1	4
Territoire de Belfort. . .	16	2	»	»	1
Rhône	156	28	20	5	19
Saône (Haute-)	4	4	2	1	3
Saône-et-Loire.	11	5	1	»	2
Sarthe	17	1	»	»	1
Savoie	4	»	»	»	»
Savoie (Haute-)	1	»	1	»	2
Seine.	156	8	13	31	69
Seine-Inférieure	54	8	9	7	16
Seine-et-Marne	3	1	1	2	»
Seine-et-Oise	8	2	3	3	6
Sèvres (Deux-).	1	»	»	»	»
Somme	54	4	1	»	35
Tarn	24	1	4	6	11
Tarn-et-Garonne.	1	»	»	»	»
Var.	6	1	»	»	2
Vaucluse	5	3	»	1	5
Vendée	2	»	»	»	»
Vienne	»	»	»	»	»
Vienne (Haute-)	10	»	1	1	3
Vosges	56	6	4	2	8
Yonne	4	»	1	1	1

D'après ce tableau, on voit que les départements qui ont eu le plus de grèves depuis 1852 se classent dans l'ordre suivant : Nord, 709; Seine, 277; Rhône, 228; Loire, 144; Ardennes, 106; Marne, 106; Pas-de-Calais, 98; Seine-Inférieure, 94; Loire-Inférieure, 92; Somme, 85; Bouches-du-Rhône, 83; Aisne, 81; Gironde, 80; Isère, 73.

Dans la même période de temps, les Basses-Alpes, le Lot n'ont eu que 3 grèves; les Hautes-Alpes, l'Eure-et-Loir, le Gers, les Landes et la Vendée n'en ont eu que 2; le Tarn-et-Garonne n'en a eu qu'une; enfin le Cantal, la Lozère et la Vienne n'en ont pas eu.

En 1893, il y a eu 2 grèves dans le département d'Alger, les deux départements d'Oran et de Constantine en ont eu chacun une, soit 4 grèves pour l'Algérie.

Si les grèves sont plus fréquentes dans les départements industriels que dans les autres, on ne peut pas dire que dans un département, le nombre des grèves est en rapport avec l'importance de son industrie. Des causes diverses exercent ici leur influence,

la nature des rapports entre ouvriers et patrons, le plus ou moins grand nombre d'ateliers, etc. Ainsi un département, ayant, pour une même industrie, dix ateliers de chacun cent ouvriers, est exposé à avoir plus de grèves qu'un autre département possédant, pour la même industrie, un seul atelier où sont occupés mille ouvriers.

Causes des grèves.

Les grèves sont presque toujours le résultat d'un désaccord survenu entre un patron et ses ouvriers. Les motifs amenant ce désaccord ne sont pas très nombreux, ce sont presque toujours les mêmes griefs qui sont invoqués, aussi est-il possible de connaitre le nombre des grèves survenues pour chaque cause (1).

	1890	1891	1892	1893 (2)
Demande d'augmentation de salaire	140	117	103	374
Réduction de salaire	49	42	53	67
Augmentation de durée de travail sans augmentation de salaire	4	3	4	4
Refus de faire des heures supplémentaires	»	»	»	1
Baisse de salaire résultant de diminution de durée de travail	6	»	1	»
Demande de diminution de durée de travail avec maintien ou augmentation de salaire	36	16	13	111
Demande de diminution de durée de travail	10	5	4	»
Contestations diverses au sujet des salaires (autres que celles ci-dessus)	20	25	38	49
Contestations diverses relatives à la réglementation du travail	»	»	»	48
Pour la suppression du travail aux pièces	»	»	»	20
Demande de travailler aux pièces	»	»	»	3
Refus, par les patrons, de règlements élaborés et de droits généraux réclamés par les syndicats ouvriers	5	11	6	»
Renvoi d'ouvriers, contremaitres, etc.	22	19	21	»
Renvoi d'ouvriers et demande de réintégration	»	»	»	47
Demande de renvoi d'ouvriers, contremaitres, Ingénieurs	22	24	35	47
Demande de renvoi des femmes	»	»	»	7
Limitation du nombre des apprentis	»	»	»	4
Protestation contre les amendes	9	8	8	»
Demandes de suppression ou de diminution des amendes	»	»	»	17

(1) Voir Office du Travail, *Statistique des grèves 1890-1891*, pages 66 et 114; *1892*, page 76; *1893*, page 154.

(2) Le total des grèves pour 1893 s'élève dans ce tableau à 820 au lieu de 634, parce que plusieurs grèves sont portées à deux, trois ou quatre natures de causes.

	1890	1891	1892	1893
	—	—	—	—
Protestations contre les règlements d'usine . .	3	3	6	»
Contestations au sujet des règlements d'atelier.	»	»	»	10
Demandes de réforme des caisses de secours, de retraites, etc.	1	3	1	»
Grèves par solidarité sans demande spéciale. .	»	»	»	11
Causes diverses ne rentrant pas dans les rubriques ci-dessus.	»	»	14	»

Ainsi, sur les 1 475 grèves survenues pendant les années 1890, 1891, 1892 et 1893, il y en a eu 734 provoquées par une demande d'augmentation de salaire et 1 296 provoquées par des contestations relatives aux salaires. Le tableau suivant (1) donne le pourcentage des grèves quant à leur cause et ainsi que celui des grévistes.

ANNÉES	POURCENTAGE PAR RAPPORT AU NOMBRE TOTAL DES GRÈVES OU SONT INTERVENUES LES CAUSES SUIVANTES :					
	Demande d'augmentation de salaires	Résistance à une réduction de salaires	Demande de réduction de la journée de travail	Demande de réintégration de personnel	Demande de renvoi de personnel	Contestations diverses
1893	59	11	17	7	7	27
1892	40	22	6	8	13	22
1891	44	17	8	7	8	19
1890	45	19	14	7	7	22
Moyennes pour la période						
1890-1893. .	50	16	13	7	9	21
1886-1889. .	43	24	»	»	»	»
1882-1885. .	41	26	6	»	»	»
1874-1880. .	52	16	5	»	»	»
NOMBRE DE GRÉVISTES PAR GRÈVE, DANS LES CAS OU SONT INTERVENUES LES CAUSES CI-DESSUS INDIQUÉES						
1893	346	233	145	158	187	942
1892	256	147	93	293	176	255
1891	258	566	159	233	206	2 040
1890	356	1 069	109	422	127	557
Moyennes pour la période						
1890-1893. .	320	447	125	265	175	892

(1) *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 516.

On peut donc dire que la cause la plus fréquente des grèves est un conflit au sujet des salaires et principalement une demande d'augmentation.

Cette observation, qui ne porte que sur les résultats de quatre années, est confirmée par la classification, faite par M. Turquan, des causes ayant provoqué 1 000 grèves dans la période de temps écoulée de 1852 à 1889.

Demande d'augmentation de salaire	474 grèves.
Diminution de salaire	267 —
Demande de réduction des heures de travail	48 —
Réduction des heures de travail	14 —
Retard dans la paye	10 —
Demande d'affichage du tarif	4 —
Demande de suppression de frais d'outils	2 —
Demande de faire le travail à la tâche	2 —
Demande de faire le travail à la journée	1 —
Demande de fixation du salaire par le syndicat	1 —
Autres causes	177 —

Ainsi nous trouvons 823 grèves sur 1 000 ayant leur cause dans une question relative aux salaires.

Grèves provoquées par l'application de la loi du 2 novembre 1892. — On sait que la loi du 2 novembre 1892, qui a pour effet de limiter le travail industriel des femmes et des enfants, est entrée en vigueur le 1er janvier 1893, mais ne commença à être appliquée d'une façon systématique qu'au mois d'octobre. Dans toutes les industries où le travail se fait en commun, où les hommes font un travail dans lequel ils sont aidés par des femmes ou des enfants, il s'est trouvé que les ouvriers adultes avaient, eux aussi, leur travail limité à dix heures s'ils occupaient des enfants, ou à onze heures s'ils occupaient des femmes. Des grèves éclatèrent à ce sujet, la véritable cause des conflits était que les ouvriers, travaillant moins longtemps malgré eux, ne pouvaient accepter une réduction de leurs salaires journaliers déjà insuffisants, tandis que les patrons ne pouvaient se résoudre à l'augmentation de leurs frais de production, augmentation qu'ils ne pouvaient qu'exceptionnellement compenser par l'élévation des prix de vente, à cause de la concurrence, ni par un petit surcroît de production, celle-ci se trouvant diminuée par l'application de la loi. Le tableau suivant donne les renseignements relatifs aux 55 grèves (1) qui ont éclaté au sujet de la loi du 2 novembre 1892.

(1) Office du Travail, *Statistique des grèves* de 1893, page 335.

DÉPARTEMENTS	MOIS	NOMBRE d'établissements	NOMBRE de grévistes	NOMBRE de jours (durée moyenne par établissement)
Ain	Juin	150	2 000	3
Aisne	Mars, novembre	2	330	3
Ardèche	Janvier, février	56	2 207	3,7
Ardennes	Mars, avril	2	80	3,5
Drôme	Janvier	4	94	7
Eure-et-Loir	Février	1	122	11
Gard	Janvier	2	90	5
Loire	Janvier	2	315	6,5
Haute-Loire	Juin	1	250	3
Loire-Inférieure	Janvier, avril, juin	21	2 286	16,3
Maine-et-Loire	Août, septembre	2	280	19,5
Marne	Janvier	1	267	1
Meurthe-et-Moselle	Janvier	1	400	11
Nord	Janvier, avril, mai, novembre, décembre	27	2 791	7,4
Seine	Février	1	46	14
Seine-Inférieure	Octobre, novembre	3	256	2
Somme	Janvier, avril, mai, septembre, octobre	62	6 805	11,4
Tarn	Juin	1	26	6
Vaucluse	Janvier, février	3	138	4,3
Vosges	Octobre, novembre	5	905	4,6

Soit en tout près de 350 établissements et de 20 000 grévistes ; le nombre total des journées chômées a été de plus de 160 000.

Coalitions de patrons. — Il a été relevé 5 coalitions de patrons pendant l'année 1893, elles sont indiquées avec leur cause dans le tableau suivant (1) :

Il est à remarquer que sur ces cinq coalitions quatre ont échoué, et une, celle de Marseille, s'est terminée par une transaction.

(1) Office du Travail, *Statistique des grèves* de 1893, page 76.

PROFESSIONS	LOCALITÉS	DATES du commencement et de la fin.	Nombre d'établissements	Nombre d'ouvriers réduits au chômage	CAUSES DE LA GRÈVE	RÉSULTAT	OBSERVATIONS
Bouchers.	Abbeville (Somme). .	19-28 avril . . .	15	24	Taxe de la viande établie par le maire.	Maintien de la taxe.	L'alimentation de la ville a été assurée par les bouchers forains.
Bouchers.	Besançon (Doubs) . .	4-8 juillet. . . .	»	»	*Idem.*	*Idem.*	
Bouchers en gros . .	Nîmes (Gard)	7 juillet.	»	»	Arrêté du maire imposant une marque pour distinguer les moutons étrangers des moutons français.	Maintien de l'arrêté.	Une boucherie municipale a été organisée pendant la grève pour livrer la viande aux bouchers détaillants.
Boulangers.	Marseille (B.-du-Rhône)	1er-3 février. . .	610	1 800	Taxe du pain établie par le maire.	Maintien de la taxe fixée dorénavant par une commission de 20 membres dont 10 délégués du syndicat.	Les ouvriers ont fait cause commune avec les patrons qui leur ont garanti leur salaire habituel.
Boulangers.	Propriano (Corse) . .	23-25 novembre.	20	»	*Idem.*	Maintien de la taxe.	

Conséquences juridiques des grèves.

Les grèves comportent plusieurs conséquences juridiques qui méritent d'être examinées.

Rupture du contrat de travail. — La grève a pour premier effet de rompre le contrat de travail conclu entre l'ouvrier et le patron. Le contrat de travail renferme deux obligations principales, l'une à la charge du patron consistant à payer le salaire convenu, l'autre à la charge de l'ouvrier consistant à faire le travail promis. Très fréquemment patrons et ouvriers joignent à ces deux obligations d'autres obligations secondaires, les unes à la charge du patron, les autres à la charge de l'ouvrier, comme le logement à prix réduit dans des locaux dépendant de l'usine, le versement à une caisse de retraites et de secours, une participation dans les bénéfices, etc. Du moment que l'ouvrier refuse d'exécuter le travail pour lequel il a été embauché, le patron est dégagé envers lui de toutes les obligations qu'il avait contractées uniquement en vue de l'exécution du travail promis. Comme conséquence de ce que nous venons de dire, l'ouvrier gréviste perd ses droits à la retraite, à des secours, à la participation des bénéfices pour l'avenir, il ne doit plus continuer à habiter dans le logement fourni par le patron, si la location lui en a été faite uniquement en sa qualité d'ouvrier de l'usine, etc. En un mot, au point de vue juridique, il n'y a aucune différence entre l'ouvrier qui se met en grève et celui qui donne isolément son compte à son patron au sujet de ses rapports avec lui.

Le patron qui prononce le *lock out*, c'est-à-dire qui ferme ses ateliers, agit comme s'il congédiait chacun de ses ouvriers isolément.

La grève ne doit pas être déclarée brusquement. — En matière de louage de services, c'est-à-dire dans le contrat de travail, chacune des parties reste toujours libre de rompre le contrat, lorsque la durée n'en a pas été fixée. Mais l'usage a consacré l'obligation, pour celle des parties qui veut faire cesser l'engagement, de prévenir l'autre, afin de permettre à celle-ci de se pourvoir d'un autre employé ou d'un autre emploi. Il n'y a de dérogation à cette règle que dans des cas spéciaux et pour des motifs graves, exigeant le renvoi ou le départ immédiat de l'ouvrier (1). Ce que

(1) Trib. paix, Reims, 25 avril 1891, *Gaz. Pal.* 1891, 1 supp. 51.

nous venons de dire, bien que ne concernant que la rupture du contrat entre le patron et un de ses ouvriers ou employés, est encore applicable quand il y a un certain nombre de contrats rompus par le fait d'une grève, ou même que tous les contrats sont rompus simultanément. La grève, même générale, ne constituant pas un cas de force majeure, elle ne dispense ni les patrons ni les ouvriers de la formalité du congé, et l'ouvrier qui ne s'est pas conformé à cette formalité peut être condamné à une indemnité vis-à-vis de son patron pour le tort qu'il lui a causé par son départ (1).

Quand, d'après les termes d'un règlement d'atelier affiché dans l'usine, tout ouvrier contracte, par le fait de l'occupation d'une place, un engagement d'un an, renouvelable par tacite reconduction, si l'ouvrier ne prévient pas l'administration de son intention de quitter, deux mois avant l'expiration de son engagement, les ouvriers violent une convention légalement consentie, si, se concertant et se mettant en grève, ils cessent tout travail sans avoir donné un congé préalable (2).

Indemnité pour rupture du contrat de travail. — Un patron ne peut prononcer brusquement le *lock out* sans s'exposer à payer une indemnité à chacun de ses ouvriers et employés qu'il congédie, à moins qu'il n'ait des raisons sérieuses à invoquer. Tout au moins, il doit les prévenir à l'avance, leur donnant un laps de temps suffisant pour qu'ils puissent retrouver de l'ouvrage.

Il en est de même pour les ouvriers et les employés (3) ; ils s'exposent à être condamnés à payer une indemnité à leur patron, s'ils se mettent brusquement en grève sans le prévenir d'avance.

Cependant un gréviste n'aurait droit à aucune indemnité pour cause de renvoi, quand son renvoi a été motivé par suite de son refus de travail. Le gréviste renvoyé ne peut invoquer la loi de 1864 ni celle de 1890 à l'appui de sa demande.

La loi de 1864 sur les coalitions a eu simplement pour but de supprimer le caractère du délit qui affectait antérieurement toute coalition quelconque, mais elle n'a pas eu pour effet de délier ceux qui se coalisent des engagements qui les liaient précédemment et de les exonérer de la responsabilité et du préjudice que pourrait faire naître la rupture de ces engagements. Dès lors,

(1) Trib. comm. Tarare, 30 décembre 1890; *Loi*, 31 janvier 1891.
(2) Trib. paix, Hirson, 17 octobre 1891 ; *Gaz. Pal.* 1891, 2, 529.
(3) Trib. comm. Tarare, 30 décembre 1890; *Loi*, 31 janvier 1891.

l'ouvrier, renvoyé par ses patrons à la suite d'une grève, ne peut, en se basant sur la loi de 1864, prétendre à des dommages-intérêts à l'encontre de son patron sous prétexte que ce dernier aurait sans droit rompu le contrat qui les liait (1).

Si la loi du 25 mai 1864 ne considère plus les coalitions comme un fait délictueux en tant qu'elles ne portent point atteinte à la liberté du travail et si elle reconnaît la légitimité du droit de grève, elle n'a pas pour effet de modifier les dispositions du droit civil qui régissent les rapports des parties dans le contrat de louage de services. Dès lors, l'ouvrier ne peut, sous le prétexte que la grève a été décidée, rompre instantanément, sans avis préalable, le contrat qui l'oblige envers ses patrons; et ceux-ci sont bien fondés à le considérer comme démissionnaire, si, ayant été invité à plusieurs reprises à reprendre son travail, il s'y est énergiquement refusé et qu'il n'a d'ailleurs formulé aucune plainte ni aucun sujet de réclamation susceptibles de motiver sa résistance aux appels qui lui étaient adressés. En conséquence, l'ouvrier qui a cessé le travail n'est pas fondé à réclamer des dommages-intérêts à son patron en prétextant d'un congédiement brusque et injustifié (2).

Il en est de même de la loi de 1890. En effet, si la résiliation du contrat de louage de services par la volonté d'un seul des contractants peut, aux termes de l'article premier de la loi du 27 décembre 1890, donner lieu à des dommages-intérêts, il résulte du texte de cette disposition et des discussions qui en ont déterminé le sens que la faculté de réclamer des dommages-intérêts n'est ouverte à l'employé congédié qu'en cas de rupture du contrat sans motif légitime. En conséquence, n'est pas recevable la demande en dommages-intérêts formée contre une Compagnie de chemins de fer par un agent révoqué pour faute grave commise dans l'exercice de ses fonctions, telles que l'abandon de son poste en temps de grève (3).

Pour que l'ouvrier n'ait droit à aucune indemnité, il faut que le patron n'ait aucune faute à se reprocher dans le fait que le gréviste a abandonné son travail ou ne l'a pas repris dans un délai déterminé.

Une Compagnie qui, sur la menace d'une grève de ses employés, a envoyé son directeur traiter avec les délégués grévistes et a refusé ensuite de ratifier les accords intervenus et signés entre

(1) Trib. comm. Roubaix, 6 août 1891; *Gaz. Pal.*, 1891, 2, 446.
(2) Trib. comm. Seine, 30 janvier 1894; *Gaz. Pal.*, 1894, 1, 516.
(3) Trib. civ. Seine, 5 août 1893; *Loi*, 17 août 1893.

eux, alors que les statuts ne donnent le pouvoir de traiter qu'à deux membres du Conseil d'administration ou au directeur général assisté d'un administrateur, commet une faute en ne faisant pas connaître immédiatement aux intéressés son refus de ratification qui laisse supposer par son silence une ratification tacite. En conséquence, les employés qui, à la suite d'une reprise de la grève dans des conditions défavorables, ont perdu leur emploi pour ne pas avoir repris leurs fonctions dans le délai qui leur avait été imparti par la Compagnie, ont contre cette dernière, à raison de ses agissements, une action en dommages-intérêts (1).

Atteintes à la liberté du travail. — Nous avons dit que la liberté du travail pouvait se résumer ainsi : « Travaille qui veut, ne travaille pas qui ne veut pas ». Or, on peut porter atteinte à la liberté du travail soit en empêchant de travailler ceux qui veulent travailler, soit au contraire en forçant à travailler ceux qui ne veulent pas travailler. L'on conçoit très bien que les grévistes soient tentés d'empêcher de travailler les ouvriers qui ne se sont pas unis à eux dans la déclaration de grève. Le patron, ne pouvant trouver d'ouvriers pour faire son travail, sera amené plus rapidement à se soumettre à la volonté des grévistes. Ces derniers sont donc portés naturellement à user de tous les moyens, même de la violence, pour empêcher soit la continuation, soit la reprise du travail.

La liberté du travail est assurée par les dispositions contenues dans l'article 414 du Code pénal que nous avons reproduit précédemment. Les menaces, dont parle cet article, ne s'appliquent pas uniquement aux menaces de violences sur la personne, mais à toutes paroles qui sont de nature à donner à celui auquel elles sont adressées de sérieuses craintes, soit pour sa sécurité personnelle, soit pour la liberté de son travail (2).

Le fait par un individu d'avoir ostensiblement, devant une usine, à la tête d'un groupe de grévistes, pris les noms des ouvriers sortant des ateliers et de les avoir dictés à un tiers, constitue une manœuvre frauduleuse concertée dans le but d'intimider les ouvriers et de porter atteinte au libre exercice du travail (3).

Le fait d'organiser des groupes de grévistes et de les envoyer à l'entrée des usines dans le but d'empêcher les ouvriers de travailler constitue une manœuvre frauduleuse dans le sens de l'ar-

(1) Trib. comm. de Marseille, 27 février 1894; *Droit* du 25 mars 1894.
(2) Trib. correct. Seine, 9 août 1888; *Gaz. Pal.*, 1888, 2, 524.
(3) Trib. correct. Saint-Étienne, 16 février 1893; *Gaz. Pal.*, 1893, 1, 276.

ticle 414 du Code pénal, et il en est de même du fait d'avoir fait partie d'un de ces groupes et injurié à haute voix les ouvriers au moment de leur entrée à l'usine (1).

Constitue une manœuvre frauduleuse dans le sens de l'article 414 du Code pénal, le fait par un individu, maire d'une commune, ne faisant partie d'aucun syndicat de bûcherons, de réunir des ouvriers bûcherons, la plupart illettrés, de les engager à déserter la coupe en leur faisant croire, par la lecture d'une lettre, qu'il était l'interprète du désir du préfet (2).

Le fait qu'un nombre considérable d'ouvriers, ayant une attitude hostile, accompagnait le prévenu, constitue une menace, dans le sens de l'article 414 du Code pénal, alors qu'il est établi que les ouvriers bûcherons qui voulaient travailler, craignant pour leurs personnes, ont cru devoir déserter la coupe (2).

Si les ouvriers ont le droit de se réunir librement pour la discussion de leurs intérêts, d'user de propagande pour recruter des adhérents à leur syndicat, ces réunions et ces propagandes ne sauraient être tolérées dans l'usine ou le chantier sans la volonté du maître. En pareille occurrence, elles constituent un abus dont le maître peut, s'il en résulte pour lui un préjudice, demander la réparation aux termes de l'article 1382 du Code civil (3).

La prétention pour des ouvriers bûcherons (au nombre de 200) de se mettre au travail, en pénétrant de force dans une coupe, malgré la défense du garde-vente et de la gendarmerie, alors que 15 ouvriers régulièrement embauchés y travaillaient paisiblement, constitue une véritable atteinte à la liberté du travail des ouvriers régulièrement embauchés, et qui avaient entrepris la coupe, puisqu'elle tendait à les priver, en réduisant la durée de l'exploitation à quelques jours, d'un travail qui leur était assuré pendant un temps relativement long (4).

Si les ouvriers ont la faculté de se constituer en syndicat et de se concerter librement pour l'étude et la défense de leurs intérêts économiques, au nombre desquels sont les conditions de leur travail et la fixation des taux de leurs salaires; si, à ce point de vue, toute propagande, même excessive, leur est permise, et si leur droit va jusqu'à celui de faire grève, encore est-ce à la condition qu'ils n'useront de ce droit que par la persuasion et dans des lieux

(1) Trib. correct. Saint-Étienne, 16 février 1893; *Gaz. Pal.*, 1893, 1, 276.
(2) Trib. correct. Nevers, 16 mars 1893; *Loi* du 29 mars 1893.
(3) Bourges, 19 juin 1894; *Loi* du 18 juillet 1894.
(4) Trib. correct. de Nevers, 21 décembre 1893, 2e espèce; *Gaz. Trib.*, 5 janvier 1894.

publics, les actes licites devenant délictueux dès l'instant qu'ils sont concertés frauduleusement et accompagnés de violences et de menaces en vue d'arrêter ou de troubler l'industrie et le travail. Il ne saurait appartenir à des ouvriers étrangers à une usine ou à un chantier d'y pénétrer et de troubler un travail librement consenti (1).

Violences contre les personnes et les propriétés. — Les grèves constituant un véritable état de guerre entre patrons et ouvriers, il en découle cette conséquence que chaque partie cherche à faire à l'autre le plus de mal possible pour la contraindre à subir sa volonté. Dans l'ardeur de la lutte, on peut en arriver, de part et d'autre, non seulement à porter atteinte à la liberté du travail, mais encore à se livrer à des actes de violence sur les personnes ou sur les propriétés. Ces actes de violence troublent l'ordre public, ils constituent des délits, parfois même des crimes, et leurs auteurs sont passibles des peines édictées dans le Code pénal relativement aux actes répréhensibles dont ils se sont rendus coupables. Il est même un fait qui donne beaucoup à réfléchir : quand des grévistes passent en jugement, l'acte d'accusation relève contre eux bien plus fréquemment des coups, des blessures, le port d'armes prohibées, des dommages causés à la propriété d'autrui, que l'atteinte à la liberté du travail.

A l'occasion de la grève des mineurs du Pas-de-Calais et du Nord, qui a duré du 18 septembre au 6 novembre 1893, et à laquelle prirent part 42 000 mineurs, il y a eu 235 individus poursuivis pour faits de grève, sur lesquels 18 ont été acquittés; 1 remis à ses parents comme ayant agi sans discernement; 6 condamnés à l'amende; 210 à un emprisonnement de six jours à six mois (2).

La grève n'est pas toujours un cas de force majeure que peut invoquer le patron envers les tiers. — L'usage commercial n'a pas admis que la grève fût considérée comme un cas fortuit ou comme un cas de force majeure, permettant au patron de s'affranchir de l'obligation de faire livraison aux dates convenues dans ses marchés, sauf dans certaines industries, comme les charbonnages (3).

Une grève d'ouvriers ne peut être considérée comme un cas de force majeure en cas de défaut de livraison des marchandises à l'époque convenue. En conséquence, l'acheteur est bien fondé à

(1) Trib. correct. de Nevers, 21 décembre 1893, 1re espèce; *Gaz. Trib.*, 5 janvier 1894.
(2) Office du Travail, *Statistique des grèves*, année 1893, page 413.
(3) Trib. civ. Avesnes, 27 décembre 1890; *Gaz. Pal.*, 1891, 1, 410.

demander la résiliation du marché et des dommages-intérêts pour le préjudice qu'il a subi par suite du retard dans la livraison (1).

Si une grève ne constitue pas toujours un cas de force majeure, il en est autrement de celle pendant laquelle tous les ouvriers d'un même corps d'état ont déserté les chantiers, mis en interdit les établissements des patrons, chassé des ateliers ceux de leurs camarades qui étaient disposés à travailler, et provoqué ainsi un arrêt général du travail de toute la corporation. Par suite, si ces circonstances ont empêché un entrepreneur de livrer son travail dans le délai fixé, il ne saurait être passible de dommages-intérêts (2).

Celui qui s'est chargé du déchargement d'un navire ne saurait être condamné au paiement de surestaries, à raison du retard apporté dans ce déchargement lorsque le retard a été causé par une grève des ouvriers du port arrivée subitement. En effet, une grève doit être considérée comme un cas fortuit lorsque, par sa soudaineté et par sa généralité, elle a pour effet d'apporter un obstacle invincible à l'exécution des engagements du débiteur, qui ne pouvait ni la prévoir ni se soustraire à ses conséquences (3).

La grève non accompagnée de violences ne pouvant être considérée comme un cas de force majeure, il en résulte que lorsqu'un marché d'entreprise a réglé les conditions de paiement, l'entrepreneur ne peut être admis à demander un supplément de prix, sous prétexte que les ouvriers maçons se seraient mis en grève et que la main-d'œuvre a surenchéri, alors que cette grève n'a pas été accompagnée de voies de fait et que les chantiers n'ont pas été frappés d'interdit (4).

Les patrons devraient introduire, dans les marchés qu'ils passent avec leurs clients, une clause portant que les grèves, pouvant survenir dans leurs ateliers ou chantiers, seraient assimilées à des cas de force majeure, reculant les époques de livraison, sans donner droit à leur réclamer une indemnité pour cause de retard. Cette clause pourrait être ainsi libellée : Dans le cas où une grève viendrait à éclater dans les ateliers et chantiers de M. M... *(le patron)*, qui, pour cette cause, ne pourrait livrer ses travaux à l'époque convenue, M. N... *(le client)* ne serait pas fondé à lui réclamer une indemnité pour cause de retard.

(1) Trib. comm. Nantes, 5 janvier 1882; *Gaz. Pal.*, 1882, 1, 527.
(2) Trib. civ. Seine, 4 décembre 1884; *Gaz. Pal.*, 1885, 1, supp. 97.
(3) Rennes, 28 juin 1894; *Droit*, 16 août 1894.
(4) Trib. civ., Seine, 18 février 1887; *Loi*, 19 février 1887.

Mise à l'index. — Le fait de se concerter en vue de préparer une grève n'étant plus un délit, l'interdiction d'un établissement industriel, prononcée par une Assemblée générale d'ouvriers, ne constitue de leur part que l'exercice d'un droit même lorsqu'ils ont eu recours, pour atteindre ce but, à des affiches et à des insertions dans les journaux, pourvu qu'on ne relève contre eux aucune allégation pouvant nuire à l'honneur ou à la considération de cet établissement (1).

La loi du 21 mars 1884 sur les syndicats professionnels n'exclut pas l'application du droit commun aux faits dommageables non prévus par elle et, en abrogeant l'article 416 du Code pénal, elle n'a pas entendu donner aux syndicats la liberté d'attenter aux droits d'autrui. En conséquence, les membres d'un syndicat qui, en publiant dans un journal un article pour mettre en interdit un établissement industriel, ont causé un préjudice au patron de cet établissement, doivent être condamnés à la réparation du préjudice causé (2).

Si depuis l'abrogation de l'article 416 du Code pénal, les menaces de grèves adressées sans violences, ni manœuvres frauduleuses, par un syndicat professionnel à un patron, à la suite d'un concert entre ses membres, sont licites quand elles ont pour objet la défense des intérêts professionnels, elles ne le sont pas quand elles ont pour but d'imposer au patron le renvoi d'un ouvrier, parce qu'il s'est retiré de l'association et qu'il refuse d'y rentrer. Dans ce cas, il y a une atteinte au droit d'autrui, laquelle, si ces menaces sont suivies d'effet, rend le syndicat passible de dommages-intérêts envers l'ouvrier congédié (3).

La loi du 21 mars 1884 sur les syndicats professionnels a eu pour objet unique de protéger les ouvriers dans leurs intérêts professionnels vis-à-vis des patrons, en les autorisant à se concerter entre eux pour la libre discussion de leurs salaires; et si, d'une part, elle a voulu assurer la liberté entière de l'ouvrier vis-à-vis du patron dans la fixation du salaire, elle a entendu aussi formellement respecter la liberté et l'indépendance des ouvriers en proclamant le droit de chacun d'eux de faire partie ou de ne pas faire partie du syndicat, suivant sa volonté. En conséquence, commet une faute qui le rend passible de dommages-intérêts le syndicat professionnel qui, au moyen d'une menace

(1) Trib. civ., Lyon, 13 mai 1885; *Gaz. Pal.*, 1885, 2, supp. 133.
(2) Nancy, 14 mai 1892; *Loi*, 20 mai 1892.
(3) Cass., 22 juin 1892; *Gaz. Pal.*, 1892, 2, 83.

de grève, obtient le renvoi d'un ouvrier, lorsque sa résolution ne se réfère aucunement à un intérêt général de la corporation et qu'elle est motivée uniquement par le refus dudit ouvrier de se soumettre à l'autorité du comité (1).

Un syndicat professionnel qui, à raison d'une difficulté personnelle entre les ouvriers syndiqués, provoque par une grève le renvoi de l'un d'eux, est passible de dommages-intérêts envers ce dernier (2).

Nombre des grévistes et des établissements où il y a eu des grèves.

M. Turquan donne les chiffres suivants au sujet du nombre total des grévistes et de leur nombre moyen à partir de 1874 jusqu'en 1887 :

	Nombre de grèves dont on a connu le nombre d'ouvriers.	Nombre total des grévistes.	Nombre moyen des grévistes.
1874.	11	2 750	257
1875.	22	8 544	387
1876.	30	7 173	239
1877.	18	4 662	259
1878. . . .	23	6 207	269
1879.	36	.43 283	1 200 (3)
1880.	59	28 526	485
1882.	136	42 156	311
1883.	140	32 908	235
1884.	90	23 702	263
1885.	108	16 671	154
1886.	145	20 386	140
1887.	89	10 117	114

Le nombre moyen des grévistes, qui allait en diminuant de 1880 à 1887, s'est relevé sensiblement en 1890, 1891 et 1892 d'après les documents publiés par l'Office du Travail (4).

1890 —	118 929	grévistes pour	305	grèves,	soit une moyenne de	390	grévistes.
1891 —	108 944	— —	265	—	—	411	—
1892 —	47 903	— —	253	—	—	189	—
1893 —	170 123	— —	634	—	—	268	—

(1) Paris, 2 mars 1894; *Gaz. Pal.*, du 3 octobre 1894. — Dans le même sens, Chambéry, 14 mars 1893; *Droit Industriel*, 1893, 206.

(2) Lyon, 2 mars 1894 ; *Loi* du 12 juin 1894.

(3) Grève des 20 000 menuisiers de Paris.

(4) Office du Travail, *Statistique des grèves*, 1890-1891, pages 52 et 102; 1892, page 60; 1893, page 78.

Les documents publiés par l'Office du Travail donnent les renseignements suivants sur les nombres des grèves, des établissements et des grévistes :

1890.	276 grèves ayant groupé	768 établissements et	114 773 grévistes.
	29 — —	nombre inconnu —	4 156 —
	4 — —	45 —	nombre inconnu —
	4 — —	nombre inconnu —	nombre inconnu —
1891.	242 — —	401 —	102 592 —
	23 — —	nombre inconnu —	6 352 —
	1 — —	1 —	nombre inconnu —
	1 — —	nombre inconnu —	nombre inconnu —
1892.	240 — —	461 —	38 013 —
	13 — —	nombre inconnu —	9 890 —
	5 — —	5 —	nombre inconnu —
	3 — —	nombre inconnu —	nombre inconnu —

En résumé, il y a eu :

En 1890, 313 grèves dont	280 ont groupé	813 établissements,	
	305 —	. . . .	118 929 grévistes.
En 1891, 267 —	243 —	402 établissements,	
	265 —	. . . .	108 944 —
En 1892, 261 —	245 —	466 établissements,	
	253 —	. . . .	47 903 —

En 1893, l'application de la loi du 2 novembre 1892 sur le travail des femmes et des enfants a provoqué 55 grèves qui ont groupé 350 établissements et 20 000 grévistes.

Il est intéressant de savoir comment se répartit le nombre des grèves survenues pendant une année relativement au nombre des établissements mis ainsi en chômage (1).

Nombre des établissements	Nombre des grèves en 1890	1891	1892	1893
1 seul établissement.	232	201	213	443
2 à 5 établissements	30	31	18	72
6 à 10 —	5	8	9	30
11 à 25 —	6	2	1	35
26 à 50 —	4	1	3	14
Plus de 50 —	3	»	»	17
Un nombre d'établissements inconnu, mais supérieur à l'unité	33	33	17	3

(1) Office du Travail, *Statistique des grèves*, 1890 et 1891, pages 52 et 102 ; 1892, page 60 ; 1893, page 78.

On voit par ces chiffres que sur un total de 1 475 grèves survenues en 1890, 1891, 1892 et 1893, il y en a 1 089 qui ont affecté un seul établissement. soit environ 74 0/0.

Résultats des grèves au point de vue du succès des grévistes.

Le tableau suivant (1) donne les résultats des grèves au point de vue du succès des grévistes.

ANNÉES	Nombre de grèves	Proportion des grèves où les grévistes ont eu :			Nombre moyen de grévistes par grève	Nombre moyen de grévistes par grève pour lesquels il y a eu :		
		Réussite	Réussite partielle	Échec		Réussite	Réussite partielle	Échec
		0/0	0/0	0/0				
1893	634	25	32	43	268	229	217	330
1892	261	22	31	47	183	174	476	120
1891	267	34	26	40	408	246	809	303
1890	313	27	21	52	380	163	437	473
Moyennes pour les périodes :								
1890-1893	368	27	27	46	302	211	390	322
1888-1889	215	21	22	57	»	»	»	»
1882-1885	131	29	13	58	»	»	»	»
1874-1880	40	24	23	53	»	»	»	»

Ce tableau nous fait voir qu'on peut dire approximativement qu'il y a la moitié des grèves qui se terminent par un échec, un quart par une réussite partielle et un quart par une réussite complète pour les ouvriers.

Il est intéressant de connaître les résultats des grèves suivant les causes qui les ont provoquées, c'est ce qu'indique le tableau suivant (2). On y voit que, pour la période 1890-93, les transactions entre patrons et ouvriers s'élèvent à 31 0/0 pour les demandes d'augmentation de salaire, soit environ 1/3, à 26 0/0 pour les résistances à une réduction de salaire, à 23 0/0 pour les demandes de diminution de la journée de travail, soit environ 1/4.

(1) *Bulletin de l'Office du Travail*, page 517.
(2) *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 517.

ANNÉES	POURCENTAGE DES GRÈVES AYANT POUR CAUSE : Demande d'augmentation de salaire — Réussite	Demande d'augmentation de salaire — Échec	Résistance à une réduction de salaire — Réussite	Résistance à une réduction de salaire — Échec	Demande de diminution de la journée de travail — Réussite	Demande de diminution de la journée de travail — Échec	Demande de réintégration de personnel — Réussite	Demande de réintégration de personnel — Échec	Demande de renvoi de personnel — Réussite	Demande de renvoi de personnel — Échec	Contestations diverses — Réussite	Contestations diverses — Échec
	Suivant que le résultat, pour les grévistes, a été :											
	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
1890	22	44	18	49	56	30	19	72	46	42	27	51
1891	30	38	17	53	12	29	10	60	11	74	32	46
1892	34	36	36	45	19	43	26	68	13	65	45	31
1893	24	56	37	42	23	56	19	81	36	59	38	48
Période 1890-93 . .	26	43	26	48	40	37	19	71	29	58	32	46
— 1888-89 . .	19	58	27	45								

Résultats des grèves d'après leur durée.

La prolongation de la grève, la résistance à outrance des grévistes est-elle un élément de succès? Seule la statistique peut répondre à cette question (1).

DURÉE Pendant les années 1890, 1891, 1892, 1893		Nombre de grèves	Nombre de grèves suivies de : Réussite	Transaction	Échec	Résultat inconnu	Nombre de grévistes	Nombre de grévistes pour lesquels les grèves ont été suivies de : Réussite	Transaction	Échec	Résultat inconnu
Une semaine au moins.		841	258	221	356	6	147 569	50 080	35 128	62 371	80
De 8 à 15 jours. . .		294	73	90	129	2	136 820	11 852	67 345	56 173	1 450
De 16 à 30 jours. . .		138	29	41	68	»	52 829	9 539	15 842	27 448	»
De 31 à 100 jours. . .		151	23	56	72	»	99 357	8 718	30 310	60 329	»
Plus de 100 jours. . .		25	1	7	17	»	7 914	1 528	2 064	4 322	»
Durée inconnue. . . .		26	3	2	13	8	1 410	143	217	821	229
TOTAUX.	par année 1890.	313	82	64	161	6	118 929	13 361	28 013	76 075	1 480
	1891.	267	91	67	106	3	108 944	22 449	54 237	32 109	149
	1892.	261	56	80	118	7	47 903	9 774	23 820	14 179	130
	1893.	634	158	206	270	»	170 123	36 186	44 836	89 101	»
	pour les 4 ans	1 475	387	417	655	16	445 899	81 770	150 906	211 464	1 759

(1) Voir Office du Travail, *Statistique des grèves*, 1890-1891, pages 73 et 121 ; 1892, page 83 ; 1893, page 159.

Si donc on résume les chiffres contenus dans ce tableau, on trouve que pour les 1 475 grèves survenues en 1890, 1891, 1892 et 1893, avec 445 899 grévistes, il y a eu :

Réussite pour.	387	grèves et	81 770	grévistes
Transaction pour	417	—	150 906	—
Échec pour.	655	—	211 464	—
Résultat inconnu pour. . .	16	—	1 759	—

Si on réduit ces chiffres pour 100 grèves et 100 grévistes, on trouve :

Réussite pour.	26,2	grèves et	18,3	grévistes
Transaction pour.	28,3	—	33,8	—
Échec pour	44,4	—	47,5	—
Résultat inconnu pour . . .	1,1	—	0,4	—

Ces chiffres montrent que les réussites absolues sont bien moins nombreuses que les échecs et que malheureusement les transactions n'aboutissent qu'un nombre de fois relativement peu élevé.

Pour 1 804 grèves, M. Turquan donne des résultats à peu près semblables.

Réussite pour.	372	grèves	soit	20,6 0/0
Transaction pour	345	—	—	19,2 0/0
Échec pour.	1 038	—	—	57,5 0/0
Résultat inconnu pour. .	49	—	—	2,7 0/0

Les 296 grèves de l'année 1889 donnent encore des résultats qui diffèrent peu.

Réussite pour.	65	grèves	soit	21,8 0/0
Transaction pour	65	—	—	21,8 0/0
Échec pour.	166	—	—	56,4 0/0

Les divers chiffres que nous venons de voir nous montrent qu'au total le nombre des échecs pour les grèves est de la moitié environ, plutôt supérieur qu'inférieur. Nous retrouvons encore une proportion semblable, si d'après les chiffres donnés pour les années 1890, 1891, 1892 et 1894, nous recherchons les résultats pour 100 grèves.

Durée.	Réussite.	Transaction.	Échec.	Résultat inconnu.
Une semaine et moins. . .	30,8	26,3	42,3	0,6
De 8 à 15 jours.	24,9	30,6	43,8	0,7
De 16 à 30 jours	21,0	29,7	49,3	»
De 31 à 100 jours.	15,2	37,1	47,7	»
Plus de 100 jours.	4,0	28,0	68,0	»

Les chiffres donnés pour les quatre années 1890, 1891, 1892, 1893, ne portent ni sur un assez grand nombre de grèves, ni sur une période assez longue pour que l'on puisse formuler une loi d'après les résultats observés. Cependant il semble, quand la grève se prolonge, que :

1° Les chances de réussite diminuent rapidement;

2° La possibilité d'une transaction devient plus facile.

3° Les dangers d'échec vont en augmentant.

Nombre, durée et résultats des grèves d'après le nombre des grévistes.

Après avoir étudié l'influence de la durée de la grève sur son résultat, nous allons aborder une étude toute semblable d'après le nombre des grévistes (1).

NOMBRE		NOMBRE DE GRÈVES suivies de				DURÉE					
de grévistes pour les années 1890, 1891, 1892 et 1893	De grèves	Réussite	Transaction	Échec	Résultat inconnu	De 1 à 7 jours	De 8 à 15 jours	De 16 à 30 jours	De 31 à 100 jours	Plus de 100 jours	Inconnue
25 et au-dessous.	263	56	44	161	2	154	43	34	25	3	4
26 à 50	324	89	81	152	2	189	64	18	32	9	12
51 à 100	273	86	79	105	3	170	54	21	22	2	4
101 à 200.	267	54	97	116	»	151	67	20	25	4	1
201 à 500.	204	64	71	69	»	117	38	26	19	3	1
501 à 1 000	54	15	19	20	»	24	8	10	8	3	»
10 001 à 5 000	60	18	21	20	1	21	13	6	19	1	»
Au-dessus de 5 000 . . .	11	»	4	7	»	2	5	3	1	»	»
Nombre inconnu	19	5	1	5	8	13	2	»	»	»	4
Totaux pour l'année 1890.	313	82	64	161	6	166	73	33	23	8	10
— — 1891.	267	91	67	106	3	159	50	19	30	5	4
— — 1892.	261	56	80	118	7	138	50	27	30	5	11
— — 1893.	634	158	206	270	»	378	121	59	68	7	1
— pour les quatre années	1 475	387	417	655	16	841	294	138	151	25	26

(1) Voir Office du Travail, *Statistique des grèves*, 1890-1891, pages 73 et 121; 1892, page 83; 1893, page 159.

Ces chiffres donnent des résultats totaux, mais pour rechercher les lois relatives à la durée des grèves et à leurs résultats d'après le nombre des grévistes, nous allons ramener toutes les grèves à 100.

NOMBRE			Nombre de grèves suivies de				DURÉE					
de grévistes		De grèves	Réussite	Transaction	Échec	Résultat inconnu	De 1 à 7 jours.	De 8 à 15 jours	De 16 à 30 jours	De 31 à 100 jours	Plus de 100 jours	Inconnue
Petite industrie	25 et au-dessous.	263	21,3	16,7	61,2	0,8	58,5	16,3	12,6	9,4	1,1	1,1
	de 26 à 50. . . .	324	27,4	25,0	46,9	0,7	58,3	19,8	5,6	9,9	2,7	3,7
Industrie moyenne	de 51 à 100. . .	273	31,5	28,9	38,5	1,1	62,2	19,7	7,7	8,0	0,6	1,8
	de 101 à 200. . .	267	20,2	36,3	43,4	»	56,5	25,0	7,5	9,1	1,5	0,3
Grande industrie	de 201 à 500. . .	204	31,4	34,8	33,8	»	57,4	18,6	12,8	9,3	4,4	0,5
	de 501 à 1 000. .	54	27,8	35,2	37,0	»	44,8	14,8	18,5	14,8	5,5	»
	de 1 001 à 5 000.	60	30,0	35,0	33,3	1,7	35,0	21,7	10,0	31,7	1,6	»
	au-dessus de 5.000	11	»	36,4	63,6	»	18,2	45,5	27,3	9,0	»	»

De ce tableau on peut tirer plusieurs conclusions :

Les établissements industriels semblent devoir être classés en trois catégories : ceux ayant moins de 51 ouvriers correspondant à la petite industrie, ceux ayant plus de 51 ouvriers et moins de 201, correspondant à l'industrie moyenne, et ceux ayant plus de 200 ouvriers correspondant à la grande industrie.

Dans la petite industrie, le nombre des réussites et des transactions augmente avec celui des grévistes ; le contraire a lieu pour le nombre des échecs.

Dans l'industrie moyenne, le nombre des réussites diminue quand celui des grévistes augmente, tandis que le contraire a lieu pour les transactions et les échecs.

Dans la grande industrie, le nombre des réussites diminue quand celui des grévistes augmente, le contraire a lieu pour le nombre des échecs, tandis que les transactions varient peu tout en augmentant.

Dans la petite industrie et l'industrie moyenne plus de la moitié des grèves ne durent qu'une semaine. Dans la grande industrie,

les grèves semblent avoir une tendance marquée à durer d'autant plus longtemps que le nombre des grévistes augmente, toutefois avec tendance à ne pas dépasser un mois.

Nombre de journées de travail chômées.

Dans un pays étendu comme la France, les salaires, payés pour un même travail, varient parfois dans des proportions considérables suivant les diverses régions où vivent les ouvriers. Si donc on veut savoir quelles pertes ont éprouvé les grévistes par suite de leur chômage, on ne peut compter que le nombre de journées de travail chômées, ce qui revient à admettre que chaque ouvrier touche un salaire suffisant à ses besoins. On ne peut dire que les journées de travail soient perdues, car si les grévistes chôment, d'autres travaillent à leur place.

D'après les documents publiés par l'Office du Travail, le nombre total des journées de travail chômées, pour 261 grèves qui ont éclaté en 1892, s'élève à 920 000 environ, dont 635 000 pour les grèves relatives aux causes suivantes, savoir : demande d'augmentation de salaire, protestation contre une réduction de salaire, contre une baisse de salaire résultant d'une diminution de durée de travail, ou contre une augmentation de durée de travail sans augmentation de salaire. La durée moyenne des 261 grèves a été de 16 jours ; le nombre moyen des journées de travail chômées a été de 3 740 par grève et 19 par chômeur. Le nombre total des grévistes ayant été de 47 903, le nombre moyen des chômeurs par grève est donc de 183. Les 55 grèves qui ont éclaté en 1893 au sujet de l'application de la loi du 2 novembre 1891 sur le travail des femmes et des enfants ont groupé 20 000 grévistes ouvriers qui ont chômé plus de 160 000 journées de travail.

En 1893, le nombre des journées chômées s'est élevé à 3 millions 174 000 pour 170 123 grévistes et 634 grèves, ce qui donne les moyennes suivantes : 628 grévistes par grève, comportant chacune une durée de 13 jours, 5 000 journées chômées et 18 journées chômées par grève et par gréviste. Près de 10 000 ouvriers ont été forcés au chômage par le fait des grèves.

M. Turquan donne les chiffres suivants :

Années.	Nombre de grèves dont il a été possible de connaître la durée et le nombre d'ouvriers.	Nombre total de journées de travail chômées.	Nombre moyen de journées de travail chômées par grève.	par ouvrier.
—	—	—	—	—
1874 . .	11	27 120	2 455	10
1875 . .	21	263 875	12 550	32
1876 . .	25	89 355	3 580	15
1877 . .	13	26 072	2 000	8
1878 . .	15	196 360	13 100	48
1879 . .	28	1 956 992	69 850	58
1880 . .	49	362 621	7 382	15
1882 . .	138	868 553	6 300	20
1883 . .	138	598 212	4 340	19
1884 . .	91	930 280	10 220	39
1885 . .	100	189 927	1 899	12
1886 . .	141	503 364	3 560	26
1887 . .	66	87 803	1 330	12

Le tableau suivant donne par département, pour les deux années 1892 et 1893, le nombre des grèves signalées à l'Office du Travail ainsi que leur importance d'après le nombre total de journées de travail chômées.

	1892		1893	
	Grèves.	Journées chômées.	Grèves.	Journées chômées.
	—	—	—	—
Ain.	»	»	2	10 580
Aisne	3	7 500	8	24 107
Allier.	4	5 500	1	1 020
Alpes (Basses-)	1	400	»	»
Alpes (Hautes-)	1	35	1	48
Alpes-Maritimes	»	»	»	»
Ardèche.	2	4 700	16	8 506
Ardennes	10	8 500	10	6 232
Ariège	1	130	1	600
Aube.	4	5 500	»	»
Aude.	1	700	5	2 574
Aveyron	2	120	8	12 850
Bouches-du-Rhône.	»	»	27	28 998
Calvados	2	30	2	1 265
Cantal	»	»	»	»
Charente	»	»	6	9 504
Charente-Inférieure. . . .	2	1 700	4	10 904
Cher	8	170 000	9	17 025
Corrèze	»	»	7	3 986
Corse	2	475	1	30
Côte-d'Or	2	»	4	11 362
Côtes-du-Nord.	2	700	2	470
A reporter	47	205 990	114	150 061

	1892		1893	
	Grèves.	Journées chômées.	Grèves.	Journées chômées.
Reports	47	205 990	114	150 061
Creuse	»	»	1	92
Dordogne	1	600	2	1 360
Doubs	3	4 400	»	»
Drôme	»	»	4	1 118
Eure	1	1 000	1	3 200
Eure-et-Loir	»	»	1	1 220
Finistère	1	5 000	2	10 368
Gard	2	800	6	10 623
Garonne (Haute-)	2	6 500	8	4 395
Gers	»	»	1	2
Gironde	4	11 000	20	106 300
Hérault	7	17 000	5	11 705
Ille-et-Vilaine	3	3 600	1	300
Indre	2	350	1	200
Indre-et-Loire	5	6 800	4	2 760
Isère	1	350	8	34 584
Jura	1	3 600	»	»
Landes	»	»	»	»
Loir-et-Cher	3	26 000	»	»
Loire	6	21 000	14	100 815
Loire (Haute-)	»	»	3	42 710
Loire-Inférieure	2	7 000	46	123 204
Loiret	2	4 600	»	»
Lot	»	»	»	»
Lot-et-Garonne	2	1 000	1	750
Lozère	»	»	»	»
Maine-et-Loire	8	2 200	11	71 100
Manche	»	»	1	132
Marne	11	13 000	18	15 713
Marne (Haute-)	1	325	»	»
Mayenne	1	1 200	»	»
Meurthe-et-Moselle	3	1 800	9	8 860
Meuse	1	»	1	360
Morbihan	6	600	1	48
Nièvre	4	100 000	9	141 816
Nord	54	60 000	121	237 870
Oise	7	2 400	5	1 030
Orne	»	»	2	250
Pas-de-Calais	10	3 300	18	1 488 470
Puy-de-Dôme	»	»	»	»
Pyrénées (Basses-)	»	»	»	»
Pyrénées (Hautes-)	1	170	3	281
Pyrénées-Orientales	1	60	4	1 426
A reporter	203	511 645	446	2 573 123

	1892		1893	
	Grèves	Journées chômées	Grèves	Journées chômées
Report	203	511 645	446	2 573 123
Territoire de Belfort . . .	»	»	1	580
Rhône	5	100	19	65 175
Saône (Haute-).	1	220	3	8 022
Saône-et-Loire	»	»	2	1 164
Sarthe	»	»	1	2 500
Savoie	»	»	»	»
Savoie (Haute-)	»	»	2	1 116
Seine.	31	150 000	69	221 374
Seine-Inférieure	7	11 000	16	9 750
Seine-et-Marne	2	300	»	»
Seine-et-Oise	3	300	6	918
Sèvres (Deux-).	»	»	»	»
Somme.	»	»	35	167 775
Tarn	6	240 000	11	103 040
Tarn-et-Garonne.	»	»	»	»
Var	»	»	2	582
Vaucluse	1	120	5	580
Vendée	»	»	»	»
Vienne	»	»	»	»
Vienne (Haute-)	1	35	3	674
Vosges	2	4 400	8	10 810
Yonne	1	450	1	1 156
Alger	»	»	2	3 360
Constantine	»	»	1	325
Oran	»	»	1	1 520
TOTAUX	263	920 000	634	3 174 000

Si l'on fait un classement des départements dans lesquels le nombre des journées chômées a dépassé 100 000, on trouve :

	1892		1893		Ensemble 1892 et 1893	
	Journées chômées.	Grèves.	Journées chômées.	Grèves.	Journées chômées.	Grèves.
Pas-de-Calais.	3 300	10	1 488 470	18	1 491 770	28
Seine	150 000	31	221 373	69	370 374	100
Tarn.	240 000	6	103 000	»	343 000	17
Nord	60 000	54	237 870	121	297 870	175
Nièvre. . . .	100 000	4	141 816	9	241 816	13
Cher	170 000	8	17 025	9	187 025	17
Somme . . .	»	»	167 775	35	167 775	35
Loire-Infér. .	70 000	2	123 204	46	130 204	48
Loire	21 000	6	100 815	14	121 815	20
Gironde . . .	11 000	4	106 300	20	117 300	24

C'est ici que l'on voit paraître le côté sombre des grèves. Pour l'ouvrier, ne plus toucher son salaire qui assure son existence et celle des siens, c'est de propos délibéré se précipiter dans la misère; c'est faire, comme on l'a fort bien dit, la guerre avec son ventre. Pour le patron, le chômage, en arrêtant la production, laisse cependant courir ses frais généraux, le met dans l'impossibilité de satisfaire aux commandes qui lui ont été faites, et l'expose ainsi, non seulement à perdre sa clientèle, mais encore à payer des dommages-intérêts pour inexécution de ses contrats. Il est certain que les Sociétés industrielles par actions pourront résister plus longtemps que les patrons, parce que les capitalistes, au contraire d'un patron, ne mettent pas toute leur fortune dans une seule affaire, la perte de quelques coupons les touchera peu, tandis que le patron a souvent besoin de ses bénéfices pour vivre.

A ce sujet, la grève de Carmaux, qui a duré du 5 août au 15 novembre 1892, donne une excellente leçon. Du côté des ouvriers, la perte totale des salaires peut être évaluée à 740 000 *f*, dont on doit défalquer environ 150 000 *f*, distribués en secours pendant la grève; du côté des actionnaires, la perte peut être évaluée à 800 000 *f*, soit une perte totale de 1 400 000 *f* environ. Il est un calcul que l'on fait fréquemment et qui a pour effet de bien montrer les résultats des grèves pour les ouvriers. On suppose que les grévistes ont obtenu une augmentation d'un dixième sur leurs salaires, ce qui est un succès complet rarement constaté, et alors on fait observer que chaque ouvrier, pour combler le déficit causé dans son maigre budget par chaque journée de grève, doit travailler pendant dix jours quand le travail a été repris. Ainsi, pour réparer la perte subie par une grève de 18 jours, moyenne de l'année 1893, il faut travailler pendant 180 jours. Cette remarque n'a rien d'encourageant, et elle est même profondément attristante, quand on songe que le nombre des journées chômées par suite de grèves s'est élevé à 920 000 en 1892 et à 3 174 000 en 1893 !

Les grévistes reçoivent des secours pour les soutenir dans leur lutte; mais, avant de les accepter, ils devraient toujours en rechercher l'origine et vérifier si leurs bienfaiteurs agissent dans un but réellement bienveillant. D'abord, ces secours ne sont jamais bien élevés; dans la grève de Carmaux ils ont dépassé le cinquième des salaires perdus, c'est relativement considérable, et ils atteignent rarement une telle proportion. Fréquemment il arrive que des industries rivales, souvent étrangères, soutiennent la grève de

leurs subsides afin d'en prolonger la durée, et cela uniquement dans un but de concurrence ou en vue de se créer des marchés nouveaux. Dans ces conditions, la clientèle d'exportation, et parfois aussi la clientèle nationale, change ses fournisseurs pour pouvoir s'approvisionner en temps voulu suivant ses besoins, et quand le travail reprend, la production doit forcément être inférieure à ce qu'elle était avant la grève, puisque les demandes ont diminué. Le patron est donc amené à congédier des ouvriers, car il n'a plus de travail à leur donner. D'un autre côté, il doit chercher à rétablir sa clientèle ; pour cela, il doit réduire ses frais généraux, abaisser ses prix de vente, et pour obtenir ces résultats, s'il le peut, il augmente le nombre des produits faits à la machine, ce qui le conduit encore à renvoyer d'autres ouvriers.

La conséquence pratique c'est que les grévistes se sont imposé des privations uniquement pour diminuer le nombre des ouvriers occupés dans leur industrie et ensuite pour provoquer, dans un avenir peu éloigné, une nouvelle réduction des salaires correspondant aux sacrifices que fait le patron, afin de retrouver les marchés perdus pendant la grève et sans lesquels l'établissement industriel ne peut continuer à marcher. C'est de deux choses l'une : ou ils subiront cette réduction de salaires, ou l'établissement sera fermé et alors ils seront sans travail.

Grèves suivant la nature de l'industrie.

Il est intéressant de savoir comment les grèves se répartissent, suivant la nature de l'industrie, avec les journées de travail chômées. Nous ne donnons que les résultats pour les années 1892 et 1893 (1).

	1892		1893	
Noms des groupes d'industrie.	Grèves.	Journées chômées.	Grèves.	Journées chômées.
Agriculture et forêts	6	235 000	10	158 920
Mines	15	255 000	22	1 513 250
Carrières	5	6 000	13	14 765
Produits alimentaires	4	10 000	14	10 812
Industries chimiques	3	130	21	73 280
Industries polygraphiques	5	850	16	11 490
Cuirs et peaux	14	35 000	56	99 000
Industries textiles proprement dites	79	82 000	233	484 760
Travail des étoffes, nettoyage	5	900	13	25 918

(1) Office du Travail, *Statistique des grèves*, 1892, page 61; 1893, page 79.

Noms des groupes d'industrie.	1892 Grèves.	1892 Journées chômées.	1893 Grèves.	1893 Journées chômées.
Industries du bois, tabletterie	23	35 000	31	37 113
Industries du bois pour le bâtiment	»	»	23	50 030
Usines métallurgiques	7	17 000	5	88 400
Travail des métaux ordinaires	27	23 000	64	151 294
Travail des métaux nobles et fabrication d'objets de prix en métal	6	21 000	1	245
Taille et polissage des pierres, travail des pierres et terres à feu	15	46 000	27	77 513
Construction et canalisation	32	29 000	58	194 270
Entreprises de chemins de fer	1	60	»	»
Autres entreprises de transport, de chargement et de déchargement	14	125 000	27	162 940

Le tableau suivant (1) nous permet de connaitre le résultat des grèves dans les divers groupes d'industries où elles ont éclaté.

INDUSTRIES	PÉRIODES	Nombre total des grèves relevées	POURCENTAGE DES GRÈVES suivant que leur cause est			suivant que le résultat, pour les grévistes, a été		
			Demande d'augmentation de salaire	Résistance à une réduction de salaire	Demande de diminution de la journée de travail	Réussite complète	Réussite partielle	Échec
Mines	1890-1893	84	31	5	15	31	32	37
	1852-1889	76	59	6	»	12	6	82
Alimentation	1890-1893	26	54	11	31	19	50	31
Cuirs et peaux	1890-1893	81	45	16	13	31	25	44
Textiles	1890-1893	534	43	18	13	23	28	49
	1852-1889	680	41	35	»	19	20	61
Travail du bois	1890-1893	103	67	11	20	38	32	30
Métallurgie	1890-1893	24	58	21	»	17	21	62
	1852-1889	128	45	25	»	18	24	58
Travail des métaux	1890-1893	157	40	17	10	21	27	52
Construction en pierre	1890-1893	143	64	5	24	32	31	37
Transport et manutention	1890-1893	63	70	12	16	27	26	47

(1) *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 519.

On voit que les chances de succès varient beaucoup non seulement d'une industrie à une autre, mais encore dans une même industrie suivant les époques, ce qui se conçoit parfaitement quand on observe que la plupart des grèves sont relatives à des questions de salaires et que les patrons font très volontiers des concessions quand ils réalisent des bénéfices; dans le cas contraire, ils résistent énergiquement et les grévistes sont obligés de céder.

Moyens d'atténuer les maux causés par les grèves.

Tout ce qui précède montre que les grèves causent des maux nombreux aussi bien aux patrons qu'aux ouvriers, mais qu'en général ce sont ces derniers qui sont le plus fortement atteints. Chercher des moyens pratiques pour conjurer les désastres qu'amènent les grèves est donc une tâche que doivent s'imposer non seulement les philanthropes, mais encore tous les hommes qui ont souci de l'avenir et du progrès de l'industrie. Cette tâche s'impose d'autant plus que la grève est un moyen d'établir l'égalité entre les deux parties dans le contrat de travail, et que parfois c'est le seul pour faire renoncer l'une d'elles à des prétentions injustes.

Les grèves sont des incidents de la guerre entre le Capital et le Travail. — Il y a tout d'abord une idée généralement admise, et que j'ai dû accepter afin de pouvoir exposer la situation telle qu'elle est présentement, c'est que la grève qui éclate dans un établissement industriel à la suite d'un conflit entre le patron et ses ouvriers, n'est qu'un incident de l'état de guerre dans lequel se trouvent le Capital et le Travail. De cette idée découlent certaines conséquences qu'il convient de signaler.

Étant en état de guerre, capitalistes et travailleurs doivent se faire réciproquement tout le mal possible pour contraindre leurs adversaires à subir leur volonté; de là l'usage de la violence de la part des ouvriers et une résistance absolue à faire des concessions de la part des patrons.

La lutte, étant engagée dans un établissement privé, prend toutes les allures d'une affaire d'un intérêt général; elle provoque ainsi les passions de personnes qui lui sont étrangères et qui viennent y prendre part de leur plein gré. Des questions politiques viennent alors se mêler au débat et les choses s'enveniment au point que la lutte ne cesse que par l'épuisement complet d'une des deux parties. L'introduction de la politique a encore fréquem-

ment pour effet de faire mettre au second plan les questions qui ont amené le désaccord entre le patron et ses ouvriers, les idées de ces derniers s'exaltent à la pensée qu'ils défendent non plus leurs intérêts personnels, mais bien la cause de tous les travailleurs. L'entente finale n'en est rendue que plus difficile.

Quelques esprits ont pensé qu'au lieu de lutter par des grèves isolées, il vaudrait mieux provoquer une grève générale de tous les travailleurs, faite simultanément et qu'ainsi les capitalistes seraient amenés bien plus rapidement à se soumettre aux exigences des ouvriers. Une telle conception des choses est une utopie, car il faudrait, au préalable, réaliser une entente générale de tous les travailleurs et être assuré que tous, sans exception, obéiraient au même mot d'ordre, non seulement pour cesser le travail, mais encore pour le reprendre et le reprendre partout aux mêmes conditions. Il convient encore de faire remarquer que, pendant la durée de la grève, les travailleurs, sans ressources pour assurer leur existence du lendemain, souffriraient bien plus que leurs adversaires, car rien n'assure qu'ils pourraient, même par la violence, se procurer ce dont ils auraient besoin.

En présence de l'impossibilité pratique d'une grève générale de tous les travailleurs, on a cherché si, par des grèves plus restreintes mais comprenant tous les travailleurs d'une même profession, on ne pourrait pas arriver au même résultat : l'écrasement du capital. On a parlé, dans cet ordre d'idées, d'une grève générale de tous les ouvriers mineurs. En effet, si la houille venait à manquer, toutes les industries qui emploient des machines à vapeur ne tarderaient pas à être arrêtées. A cette grève, il y a deux obstacles. Supposons que les mineurs français se mettent tous en grève, il est peu probable que leurs camarades étrangers les imiteraient, ceux-ci n'hésiteraient pas à travailler pour profiter d'une augmentation de salaire qu'on leur accorderait d'autant plus facilement qu'il y aurait une hausse sensible dans les prix de vente du charbon; ils se contenteraient d'envoyer des subsides à leurs frères français en les encourageant à la résistance. Le second obstacle serait dans le mécontentement des ouvriers des autres industries qui, satisfaits à peu près de leur sort, se verraient plongés dans les souffrances d'un chômage par la volonté unique d'autres travailleurs qui ne les auraient pas consultés. De ce fait pourrait résulter un mouvement d'opinion hostile avec lequel les ouvriers mineurs auraient à compter et qui serait pour eux une cause de faiblesse.

On a encore parlé de la grève des employés de chemins de fer. Cette grève apporterait certainement une grande perturbation dans les affaires commerciales du pays où elle éclaterait, mais les transports ne seraient pas complètement suspendus pour cela. Tous les employés ne prendraient pas part à la grève; il en resterait certainement un nombre suffisant pour assurer un service de quelques trains par jour. Ce n'est pas tout, la batellerie, les entrepreneurs de roulage offriraient d'autant plus volontiers leurs services, que tout en payant royalement leurs ouvriers, ils réaliseraient encore de beaux benéfices.

Il y a une remarque à faire au sujet des grèves. Dans toute grève, c'est un gros appoint pour le succès de leurs réclamations quand les ouvriers ont l'opinion publique pour eux, c'est une force morale dont l'effet est considérable. Mais quand une grève vient troubler les habitudes de la population, quelles que soient ces habitudes, l'opinion publique veut une solution à brève échéance et elle devient rapidement hostile à ceux qui paraissent prolonger la grève sans rechercher s'ils ont raison ou tort. Dans ces conditions, l'intervention de l'autorité publique pour terminer le conflit est accueillie par les acclamations de tous.

Les grèves sont produites par le conflit d'intérêts privés. — Le meilleur moyen d'atténuer les maux qu'entraînent les grèves après elles, est de cesser de les considérer comme des incidents de la guerre entre le Capital et le Travail et de voir simplement en elles des conflits causés par des désaccords au sujet d'intérêts purement privés. Cette manière de voir est confirmée par les documents fournis par la statistique. En effet, si on observe les diverses causes qui provoquent les grèves, on reconnait qu'on peut les grouper en deux grandes catégories :

1° Modifications dans les clauses du contrat que le patron passe avec ses ouvriers (augmentation ou diminution de salaire, durée du travail, etc.);

2° Modifications dans les conditions du travail (renvoi d'un directeur, d'un ouvrier, introduction de nouvelles machines, etc.); ainsi que l'on peut s'en convaincre en parcourant le tableau des causes des grèves. Si on se reporte aux tableaux du nombre des grévistes et des établissements où il y a eu des grèves, on voit que sur les 1 475 grèves observées en 1890, 1891, 1892 et 1893, il y en a eu 1 089 qui n'ont affecté qu'un seul établissement. Malheureusement, il y a deux points intéressants concernant les

386 autres grèves et sur lesquels la statistique est muette. Parmi ces établissements, combien y en avait-il, qui, situés dans une même région, présentaient les mêmes conditions de travail et provoquaient les mêmes réclamations? A côté de ces grèves, il convient de signaler qu'en 1893, il n'y en a eu que 11, sur 634, causées par solidarité sans demande spéciale. Ces 11 grèves sont les seules dans lesquelles on pourrait peut-être voir une phase de la lutte du Capital contre le Travail, mais cela n'est pas certain. Elles ont pu avoir pour cause unique un esprit de solidarité, les ouvriers ne voulant pas, par leur travail, nuire au succès des grévistes. Du reste, ces 11 grèves ont été peu importantes, elles n'ont groupé que 1 622 grévistes répartis entre 150 établissements, aucune d'elles n'a réussi; 4 se sont terminées par une transaction comprenant 132 établissements et 980 grévistes, les 7 autres ont abouti à un échec; elles comprenaient 18 établissements et 642 grévistes.

Du moment que l'on établit que les grèves sont provoquées par le conflit d'intérêts privés, on reconnait par cela même qu'il est facile d'arriver à donner une complète satisfaction au mieux des parties intéressées, sans avoir besoin de faire appel à des principes irritants d'intérêt général qui n'ont rien à voir dans les questions pendantes. Pour terminer les différends divers qui provoquent les grèves, il faut procéder avec une grande loyauté et une entière bonne foi dans l'examen des griefs invoqués par les ouvriers et des objections présentées par les patrons. Se tenant sur ce terrain, une discussion courtoise est possible et un arrangement équitable en est rapidement le résultat.

C'est dans cet ordre d'idées que le Parlement a voté la loi du 27 décembre 1892 et que les Chambres syndicales de patrons et d'ouvriers ont eu recours à l'institution de conseils permanents de conciliation.

Loi du 27 décembre 1892 sur la conciliation et l'arbitrage en matière de différends collectifs entre patrons et ouvriers.

Caractère de la loi. — Les dispositions, contenues dans la loi du 27 décembre 1892, sont purement facultatives, les parties intéressées, ouvriers et patrons, peuvent y recourir si bon leur semble pour mettre fin à leur désaccord, mais rien ne les y oblige. Ainsi sur les 607 grèves constatées en 1893, il n'y a eu que 104 recours

à cette loi pour mettre fin au conflit. Le but de la loi est de créer un procédé rapide pour résoudre amiablement les conflits qui s'élèvent entre le Capital et le Travail.

Conditions d'application de la loi. — La loi n'est pas applicable indistinctement à tous les conflits qui peuvent surgir entre patrons et ouvriers, trois conditions sont nécessaires :

1° Le conflit doit être d'ordre collectif;

2° Le conflit doit porter sur les conditions du travail;

3° Le conflit doit s'élever entre patrons, ouvriers ou employés.

Il eût été inutile de faire une nouvelle loi au sujet des conflits individuels entre patrons et ouvriers, puisque ces sortes de conflits ont la juridiction des Prud'hommes pour y mettre fin. La nouvelle loi devait donc laisser de côté les conflits individuels pour ne s'occuper que des conflits collectifs qui jusqu'ici n'avaient aucune juridiction pour les trancher d'une façon rapide.

La deuxième condition est relative aux conditions du travail. Cette expression générale embrasse toutes les contestations qui peuvent s'élever au sujet de l'interprétation de l'une quelconque des clauses du contrat de travail, ou encore au sujet des usages pratiqués dans les ateliers, etc.

La troisième condition est que le conflit surgisse entre patron et ouvriers ou employés. La loi ne peut donc être appliquée qu'aux seuls conflits qui s'élèvent entre patrons et salariés. Cependant, si on se reporte aux débats parlementaires, on voit que les personnes employées directement par l'État, les départements et les communes, et qui sont payées sur les fonds du budget, ne peuvent, en cas de conflit collectif sur les conditions de leur travail, demander l'application de la loi.

Sauf cette exception, que nous venons de signaler, on peut dire que la loi du 27 décembre 1892 convient aux conflits qui s'étendent à tous les établissements d'une industrie dans plusieurs communes ou dans toute une région, comme à ceux qui n'intéressent qu'un seul atelier, une seule usine ou une section d'usine; elle s'applique aussi aux différends qui surgissent dans les travaux temporaires, à personnel nomade, tels que certains travaux d'agriculture, et de terrassements; elle peut être offerte aux ouvriers qui ont cessé le travail, aussi bien qu'à ceux qui sont résolus à ne recourir à la grève qu'après avoir épuisé tous les moyens de conciliation (1).

(1) Circulaire du ministre du Commerce, de l'Industrie et des Colonies, en date du 23 janvier 1893, *Journal Officiel*, 1893, page 448.

Procédure pour la formation du comité de conciliation. — Il y a deux cas à distinguer :

1° Les patrons et les ouvriers, étant en désaccord, s'adressent au juge de paix, soit ensemble, soit séparément, pour former un comité de conciliation; peu importe que la grève ait éclaté ou ne soit encore qu'à l'état de menace;

2° La grève a éclaté, le juge de paix offre spontanément son concours pour concilier les patrons et les ouvriers.

Nous ne traiterons le second cas qu'après avoir examiné toute la marche de la procédure de la conciliation et de l'arbitrage.

Les patrons, ouvriers ou employés adressent soit ensemble, soit séparément, au juge de paix du canton ou de l'un des cantons où existe le différend, une déclaration écrite contenant :

1° Les noms, qualités et domiciles des demandeurs ou de ceux qui les représentent;

2° L'objet du différend, avec l'exposé succinct des motifs allégués par la partie qui fait la déclaration;

3° Les noms, qualités et domiciles des personnes auxquelles la proposition de conciliation doit être notifiée;

4° Les noms, qualités et domiciles des délégués choisis parmi les intéressés par les demandeurs pour les assister ou les représenter, sans que le nombre des personnes désignées puisse être supérieur à cinq.

Les patrons et les ouvriers ou employés ont exactement les mêmes pouvoirs pour demander la formation d'un comité de conciliation; sur ce point, l'égalité entre eux est absolue. Ils peuvent faire la demande eux-mêmes ou ils peuvent encore la faire faire par des mandataires qu'ils auraient choisis. En ce cas, la preuve du mandat n'est assujettie à aucune forme solennelle, seulement le magistrat devra en vérifier avec soin l'existence et l'étendue (1).

La déclaration doit être adressée au juge de paix du canton où le différend s'est élevé. Cependant, si le différend s'étendait à des établissements situés dans divers cantons, le juge de paix de chacun de ces cantons serait compétent, c'est-à-dire que les parties intéressées pourraient s'adresser à chacun d'eux.

Le juge de paix délivre récépissé, sur papier libre et sans frais, de la déclaration qu'il a reçue, avec indication de la date et de l'heure du dépôt. Il la notifie également sans frais, dans les vingt-quatre heures, à la partie adverse ou à ses représentants, par

(1) Circulaire du ministre de la Justice aux procureurs généraux, en date du 18 février 1893.

lettre recommandée ou, au besoin, par affiches apposées aux portes de la justice de paix des cantons, et à celles de la mairie des communes sur le territoire desquelles s'est produit le différend. Quand la déclaration émane des ouvriers, il est facile de la notifier aux patrons par lettre recommandée, mais quand elle vient des patrons, on ne peut songer à la notifier individuellement à chaque ouvrier : il faut donc avoir recours à des affiches, à moins que les ouvriers ou employés n'aient déjà fait part de leurs griefs à leur patron en lui envoyant des délégués; la notification pourra alors être faite à ces derniers par lettre recommandée adressée à chacun d'eux.

Au reçu de cette notification, et au plus tard dans les trois jours, les intéressés doivent faire parvenir leur réponse au juge de paix. Passé ce délai, leur silence est considéré comme un refus. En cas de refus de la proposition de conciliation, la mission du magistrat est terminée. Cependant, si l'éloignement ou l'absence des personnes auxquelles la proposition est notifiée, ou la nécessité de consulter des mandants, des associés ou un conseil d'administration, ne permettent pas de donner une réponse dans les trois jours, les représentants de ces personnes doivent, dans ce délai de trois jours, déclarer quel est le délai nécessaire pour donner cette réponse. Cette déclaration est transmise par le juge de paix aux demandeurs dans les vingt-quatre heures.

Si la proposition est acceptée, les intéressés désignent dans leur réponse les noms, qualités et domiciles des délégués choisis pour les assister ou les représenter, et alors le juge de paix invite d'urgence les parties ou les délégués désignés par elles à se réunir en comité de conciliation.

Nomination des délégués. — Quand un conflit éclate entre deux personnes, leur comparution en conciliation devant le juge de paix présente de grandes chances pour qu'un arrangement amiable vienne rétablir l'accord. Ceci est encore vrai, quand il s'agit d'un conflit pouvant provoquer une grève; seulement, on ne peut songer à faire comparaître tous les ouvriers, ils doivent pouvoir nommer des délégués qui les représenteront. Cette faculté est accordée aux patrons comme aux ouvriers, mais elle comporte certaines conditions que nous allons examiner :

1° Les délégués, choisis par les patrons comme par les ouvriers, doivent être non seulement de la profession, mais intéressés dans le débat. Ainsi un patron ne pourra pas prendre un autre patron,

les ouvriers confier leurs intérêts à des camarades travaillant dans une autre usine restée étrangère au conflit. C'est donc parmi les personnes intéressées dans le conflit que patrons et ouvriers devront choisir leurs délégués;

2° Les délégués doivent être citoyens français, c'est-à-dire avoir la jouissance de leurs droits civils, civiques et politiques. Dans un établissement où tout le personnel serait composé d'ouvriers étrangers, la loi du 27 décembre 1892 ne pourrait être appliquée. Dans les professions ou industries où les femmes sont employées, elles pourront être désignées comme déléguées, à la condition d'appartenir à la nationalité française;

3° Le nombre des délégués ne peut être supérieur à cinq, mais il peut être réduit à un seul délégué pour chacune des parties. Si les délégués étaient trop nombreux, il en pourrait résulter une discussion confuse. Chaque partie nomme autant de délégués qu'elle juge convenable, mais il n'est pas nécessaire que les deux parties en aient le même nombre.

Les personnes, que les parties intéressées amènent au comité de conciliation pour les assister, doivent réunir les mêmes conditions comme profession, intérêt, nationalité et nombre que les délégués.

Les parties intéressées nomment leurs délégués comme bon leur semble, la loi n'a posé aucune règle sur ce point spécial.

Comité de conciliation. — Les parties intéressées, ayant été convoquées par le moyen que le juge de paix a estimé être le plus prompt et le plus sûr, se trouvent en présence d'un magistrat impartial, qui, par sa position même, affirmera sa neutralité complète et les invitera à entrer en pourparlers. Le rôle du juge de paix dans le comité consiste uniquement à dresser le procès-verbal dans lequel sont consignés les résultats de la tentative de conciliation. Il n'a pas voix délibérative ; il reste étranger à la discussion, et il ne peut présider la réunion, diriger les débats que sur la demande expresse des parties intéressées.

Le comité de conciliation n'est pas un tribunal statuant sur le conflit, il ne peut aboutir qu'à un accord ou à un refus d'accord, c'est pour cela que la loi n'oblige pas les parties intéressées à avoir une représentation égale. Un grand avantage de la réunion d'un comité de conciliation, c'est qu'un débat contradictoire s'engage entre les délégués des deux parties et qu'ainsi peuvent se dissiper bien des préjugés et bien des méfiances.

Si l'accord s'établit sur les conditions de la conciliation, ces conditions sont consignées dans un procès-verbal dressé par le juge de paix et signé par les parties ou leurs délégués. Dans le cas contraire, le magistrat propose d'avoir recours à un arbitrage.

Arbitrage. — L'accord n'ayant pu s'établir, le juge de paix invite les parties présentes à désigner chacune soit un ou plusieurs arbitres, soit un arbitre commun. La loi suppose donc qu'il a été donné aux délégués un double pouvoir par les parties intéressées : les représenter au comité de conciliation et nommer des arbitres en cas de désaccord. S'il en était autrement, le juge de paix accorderait un délai aux délégués pour leur permettre de consulter leurs mandants à ce sujet. Toutefois, il faut bien observer qu'à la suite d'un échec du comité de conciliation, l'arbitrage proposé par le magistrat est facultatif, la loi ne l'impose pas.

Les arbitres doivent avoir une compétence indiscutée, aussi les patrons et les ouvriers peuvent les choisir comme ils veulent ; cependant il y a une restriction ; les arbitres, étant investis d'une véritable magistrature, doivent être citoyens français ; une femme ne peut être nommée arbitre. Le nombre des arbitres n'est pas limité comme celui des délégués, les parties doivent seulement en nommer chacun le même nombre, à moins qu'elles préfèrent n'avoir qu'un seul arbitre commun.

Quand les membres du comité de conciliation désigneront les premiers arbitres, ils devront, en même temps, rédiger par écrit les sujets de dissentiment qui seront la matière de l'arbitrage. C'est une précaution essentielle, car la formule très nette des questions litigieuses est la meilleure préparation d'une solution éclairée et équitable. C'est, d'ailleurs, l'application pure et simple du droit commun (articles 1005 et 1006 du Code de procédure civile) (1).

Si les arbitres ne s'entendent pas sur la solution à donner aux différends, ils pourront choisir un nouvel arbitre pour les départager ; ils ne pourraient pas en nommer deux ou un plus grand nombre. Ce nouvel arbitre ne sera pas tenu, comme le tiers-arbitre dont les pouvoirs sont définis par le Code de procédure civile, de se conformer à l'un des avis des autres arbitres, il pourra proposer un système nouveau de conciliation ou une transac-

(1) Circulaire du ministre de la Justice aux procureurs généraux, en date du 18 février 1893.

tion entre les deux premiers. Si les arbitres n'arrivaient à s'entendre, ni sur la solution à donner au différend, ni pour le choix de l'arbitre départiteur, ils devraient le déclarer sur le procesverbal, et cet arbitre serait nommé par le président du Tribunal civil, sur le vu du procès-verbal qui lui serait transmis d'urgence par le juge de paix.

La décision sur le fond, prise par les arbitres, est rédigée et signée par eux, puis remise au juge de paix qui la dépose au greffe et en délivre gratuitement une copie à chacune des parties intéressées.

Droit d'initiative du juge de paix. — En cas de grève, quand les parties intéressées ne s'adressent pas à lui, le juge de paix peut, de son initiative privée, les inviter d'office par lettres recommandées ou par affiches, comme il a été dit plus haut, à lui faire connaître dans les trois jours :

1° L'objet du différend avec l'exposé succinct des motifs allégués;

2° Leur acceptation ou leur refus de recourir à la conciliation et à l'arbitrage ;

3° Les noms, qualités et domiciles des délégués choisis, le cas échéant, par les parties, sans que le nombre des personnes désignées de chaque côté puisse être inférieur à cinq.

Le délai de trois jours peut être augmenté pour les mêmes causes et conditions que nous avons vues, dans le cas où les parties intéressées ou l'une d'elles s'adressent au juge de paix.

On ne peut définir, d'avance, les cas dans lesquels les juges de paix devront user de leur droit d'initiative et ceux dans lesquels la prudence leur conseillera de s'abstenir. Ils doivent s'en remettre, sur ce point délicat, à leur tact et à leur expérience. S'ils doivent éviter de compromettre leur autorité et parfois de rendre l'arbitrage suspect par une intervention intempestive, ils ne doivent jamais hésiter à faire appel à la conciliation, toutes les fois que cet appel aura la moindre chance d'être écouté. Il peut arriver que l'initiative s'impose dès le premier jour de la grève. Dans ce cas, il sera préférable d'attendre quelques jours pour se rendre un compte plus exact des dispositions des parties. Parfois, encore, une première tentative échouera, et, renouvelée quelques jours plus tard, sera mieux accueillie. D'une manière générale, l'intervention du magistrat ne devra pas être trop tardive ; il conviendra de ne pas attendre que la prolongation de la grève ait

envenimé le débat et que les passions étrangères aux intérêts en jeu aient apporté de plus violents ferments de discorde. Si la grève s'étendait sur le territoire de plusieurs cantons, les juges de paix devraient se concerter entre eux et déterminer, d'un commun accord, celui qui aurait à prendre l'initiative prévue par la loi (1).

Si la proposition de conciliation est acceptée, on suit la même procédure que dans le cas où les intéressés se sont adressés au juge de paix

Procès-verbaux. — Timbre. — Enregistrement. — Les procès-verbaux, dressés par le juge de paix en cas d'accord du comité de conciliation, par les arbitres, soit pour déclarer qu'ils ne peuvent s'entendre ni sur la solution à donner au différend, ni sur le choix de l'arbitre départiteur, soit pour statuer sur le fond, sont conservés en minute au greffe de la justice de paix qui en délivre gratuitement une expédition à chacune des parties, et en adresse une autre au ministre du Commerce et de l'Industrie par l'entremise du préfet.

Tous les actes faits en exécution de la loi du 27 décembre 1892 sont dispensés du timbre et enregistrés gratis.

Affichage. — La demande de conciliation et d'arbitrage, le refus ou l'absence de réponse de la partie adverse, la décision du comité de conciliation ou celle des arbitres, notifiés par le juge de paix au maire de chacune des communes où s'étendait le différend, sont, par chacun de ces maires, rendus publics par affichage, à la place réservée aux publications officielles. L'affichage de ces décisions peut se faire, en outre, par les parties intéressées. Les affiches sont dispensées du timbre.

Cet affichage, que la loi autorise et favorise même en dispensant les affiches du timbre, a pour conséquence de mettre l'opinion publique au courant du conflit. Par conséquent, les parties intéressées auront toujours tort de refuser toute conciliation; elles devront, au contraire, accepter les propositions qui leur seront faites, quand elles ne les provoqueront pas, et montrer une grande modération, soit dans l'exposé de leurs griefs, soit dans la réponse aux griefs de leurs adversaires. Il est très important, dans les grèves, d'avoir l'opinion publique pour soi et de forcer ses adversaires à faire connaître ce qu'ils veulent faire dès l'origine

(1) Circulaire du ministre de la Justice aux procureurs généraux, en date du 18 février 1893.

du conflit. On ne doit jamais repousser les propositions de former un comité de conciliation, même quand on ne peut faire aucune concession. Alors on explique aux délégués les motifs de résistance que l'on a, et certainement ces motifs seront approuvés quand ils seront justes. Il n'en est pas de même de l'arbitrage, car les arbitres ont toujours une tendance à faire des concessions aux deux parties qu'ils ont mission de concilier; on ne doit donc accepter l'arbitrage qu'autant que l'on est disposé à terminer le conflit par une transaction.

Frais de conciliation et d'arbitrage. — Les locaux nécessaires à la tenue des comités de conciliation et aux réunions des arbitres sont fournis, chauffés et éclairés par les communes où ils siègent. Les frais qui en résultent sont compris dans les dépenses obligatoires des communes. Les dépenses des comités de conciliation et d'arbitrage sont fixées par arrêté du préfet du département et portées au budget départemental comme dépenses obligatoires.

Résultats de l'application de la loi. — Le meilleur moyen de se rendre compte du mérite d'une loi est de voir ses résultats, c'est ce que nous allons faire en analysant les documents publiés à ce sujet par l'Office du Travail (1).

Année 1893. — Il a été fait, pendant l'année 1893, 109 recours à la loi sur la conciliation et l'arbitrage : 7 de ces recours ont été adressés par les ouvriers dès l'apparition du différend, avant toute grève, et 102 ont été faits lorsque la grève était déjà déclarée.

Comme il y a eu 634 grèves dans l'année, la proportion des recours à la conciliation, suivant la procédure instituée par la loi, a donc été de 17,19 0/0.

Nombre de grèves			634
Nombre de recours à la conciliation			109
Recours formé par les ouvriers		56	109
— par les patrons		5	
— par les deux parties		2	
— par le juge de paix		46	
Travail repris aussitôt dans			13 cas.
Conciliation repoussée par	les patrons	35	42 —
	les ouvriers	6	
	les deux parties	1	
Constitution de comité de conciliation dans			34 —

(1) *Statistique des grèves*, 1893, page 325; *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 514.

L'application de la loi a donné les résultats suivants :

RÉSULTATS	RÉSULTATS OBTENUS PAR LES GRÉVISTES PROPORTION 0/0.			OBSERVATIONS
	Pour les 634 grèves de l'année	Pour les 51 conflits terminés par l'application de la loi	Pour les 58 grèves pour lesquelles les recours formés n'ont pas eu de suite	
Réussite	25	24	8	5 conseils d'arbitrage seulement ont fonctionné en 1893.
Transaction	32	51	47	
Echec.	43	25	45	
	100	100	100	

Sur les 109 recours à la conciliation, il y a eu 51 conflits qui ont pris fin, donnant une proportion de moitié pour les transactions. Le président du Tribunal civil a été appelé deux fois à désigner le tiers-arbitre : dans un cas, les ouvriers ont refusé de se soumettre à la décision de l'arbitre désigné par ce magistrat, et, dans l'autre cas, deux arbitres choisis par lui, l'un après l'autre, ont tous deux décliné la mission qu'il voulut leur confier.

L'article 15 de la loi, qui exige que les arbitres et les délégués soient citoyens français, a empêché la formation du comité de conciliation lors d'une grève survenue dans un établissement dont le patron et tous les ouvriers étaient étrangers.

ANNÉE 1894. — D'après les documents publiés par le *Bulletin de l'Office du Travail* (1), il y aurait eu dans les neuf premiers mois de l'année 1894, 261 grèves et 65 recours à la loi du 27 décembre 1892, soit 23,1 0/0.

Recours adressés avant toute grève.			4
Recours formés par	les ouvriers.		32
—	—	les patrons	1
—	—	les deux parties. . . .	2
—	—	le juge de paix. . . .	30

Si la procédure de conciliation a reçu un assez bon accueil de l'ensemble de la population industrielle, on ne peut en dire autant

(1) 1894, pages 51, 103, 170, 220, 282, 333, 382, 446, 496.

de l'arbitrage proprement dit qui inspire encore quelque défiance tant aux patrons qu'aux ouvriers. Les refus de constituer un comité de conciliation n'ont même été aussi nombreux que parce qu'une lecture trop superficielle de la loi a laissé se répandre l'idée qu'en cas de désaccord dans ce comité, l'arbitrage devenait obligatoire. Une connaissance plus exacte des dispositions de la loi fera certainement disparaître les hésitations qui ont été signalées dans le cours de la première année de son application (1).

Texte de la loi. — Voici le texte de la loi du 27 décembre 1892 publié dans le *Bulletin de l'Office du Travail*, 1894, page 42 :

Article premier. — Les patrons, ouvriers ou employés entre lesquels s'est produit un différend d'ordre collectif portant sur les conditions du travail peuvent soumettre les questions qui les divisent à un comité de conciliation et, à défaut d'entente dans ce comité, à un conseil d'arbitrage, lesquels seront constitués dans les formes suivantes :

Art. 2. — Les patrons, ouvriers ou employés adressent, soit ensemble, soit séparément, en personne ou par mandataires, au juge de paix du canton ou de l'un des cantons où existe le différend, une déclaration écrite contenant :

1° Les noms, qualités et domiciles des demandeurs ou de ceux qui les représentent ;

2° L'objet du différend, avec l'exposé succinct des motifs allégués par la partie ;

3° Les noms, qualités et domiciles des personnes auxquelles la proposition de conciliation ou d'arbitrage doit être notifiée ;

4° Les noms, qualités et domiciles des délégués choisis parmi les intéressés par les demandeurs pour les assister ou les représenter, sans que le nombre des personnes désignées puisse être supérieur à cinq.

Art. 3. — Le juge de paix délivre récépissé de cette déclaration, avec indication de la date et de l'heure du dépôt, et la notifie sans frais, dans les vingt-quatre heures, à la partie adverse ou à ses représentants, par lettre recommandée ou au besoin par affiches apposées aux portes de la justice de paix des cantons et à celles de la mairie des communes sur le territoire desquelles s'est produit le différend.

Art. 4. — Au reçu de cette notification, et au plus tard dans les trois jours, les intéressés doivent faire parvenir leur réponse au juge de paix.

Passé ce délai, leur silence est tenu pour refus.

S'ils acceptent, ils désignent dans leur réponse les noms, qualités et domiciles des délégués choisis pour les assister ou les représenter, sans que le nombre des personnes désignées puisse être supérieur à cinq.

Si l'éloignement ou l'absence des personnes auxquelles la proposition

(1) Office du Travail, *Statistique des grèves*, 1894, page 328.

est notifiée, ou la nécessité de consulter des mandants, des associés ou un conseil d'administration, ne permettent pas de donner une réponse dans les trois jours, les représentants desdites personnes doivent, dans ce délai de trois jours, déclarer quel est le délai nécessaire pour donner cette réponse.

Cette déclaration est transmise par le juge de paix aux demandeurs dans les vingt-quatre heures.

Art. 5. — Si la proposition est acceptée, le juge de paix invite d'urgence les parties ou les délégués désignés par elles à se réunir en comité de conciliation.

Les réunions ont lieu en présence du juge de paix, qui est à la disposition du comité pour diriger les débats.

Art. 6. — Si l'accord s'établit, dans ce comité, sur les conditions de la conciliation, ces conditions sont consignées dans un procès-verbal dressé par le juge de paix et signé par les parties ou leurs délégués.

Art. 7. — Si l'accord ne s'établit pas, le juge de paix invite les parties à désigner soit chacune un ou plusieurs arbitres, soit un arbitre commun.

Si les arbitres ne s'entendent pas sur la solution à donner au différend, ils pourront choisir un nouvel arbitre pour les départager.

Art. 8. — Si les arbitres n'arrivent à s'entendre ni sur la solution à donner au différend, ni pour le choix de l'arbitre départiteur, ils le déclareront sur le procès-verbal, et cet arbitre sera nommé par le président du Tribunal civil, sur le vu du procès-verbal qui lui sera transmis d'urgence par le juge de paix.

Art. 9. — La décision sur le fond, prise, rédigée et signée par les arbitres, est remise au juge de paix.

Art. 10. — En cas de grève, à défaut d'initiative de la part des intéressés, le juge de paix invite d'office, et par les moyens indiqués à l'article 3, les patrons, ouvriers ou employés, ou leurs représentants, à lui faire connaitre dans les trois jours :

1° L'objet du différend avec l'exposé succinct des motifs allégués ;

2° Leur acceptation ou refus de recourir à la conciliation et à l'arbitrage ;

3° Les noms, qualités et domiciles des délégués choisis, le cas échéant, par les parties, sans que le nombre des personnes désignées de chaque côté puisse être supérieur à cinq.

Le délai de trois jours pourra être augmenté pour les causes et dans les conditions indiquées à l'article 4.

Si la proposition est acceptée, il sera procédé conformément aux articles 5 et suivants.

Art. 11. — Les procès-verbaux et décisions mentionnés aux articles 6, 8 et 9 ci-dessus sont conservés en minute au greffe de la justice de paix, qui en délivre gratuitement une expédition à chacune des parties et en adresse une autre au ministre du Commerce et de l'Industrie par l'entremise du préfet.

Art. 12. — La demande de conciliation et d'arbitrage, le refus ou l'absence de réponse de la partie adverse, la décision du comité de conciliation ou celle des arbitres, notifiés par le juge de paix au maire de chacune des communes où s'étendait le différend, sont, par chacun de ces maires, rendus publics par affichage à la place réservée aux publications officielles.

L'affichage de ces décisions pourra en outre se faire par les parties intéressées. Les affiches seront dispensées du timbre.

Art. 13. — Les locaux nécessaires à la tenue des comités de conciliation et aux réunions des arbitres sont fournis, chauffés et éclairés par les communes où ils siègent.

Les frais qui en résultent sont compris dans les dépenses obligatoires des communes.

Les dépenses des comités de conciliation et d'arbitrage seront fixées par arrêté du préfet du département et portées au budget départemental comme dépenses obligatoires.

Art. 14. — Tous actes faits en exécution de la présente loi seront dispensés du timbre et enregistrés gratis.

Art. 15. — Les arbitres et les délégués nommés en exécution de la présente loi devront être citoyens français.

Dans les professions ou industries où les femmes sont employées, elles pourront être désignées comme déléguées, à la condition d'appartenir à la nationalité française.

Art. 16. — La présente loi est applicable aux colonies de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion.

Conseils permanents de conciliation.

Les conseils permanents de conciliation sont composés de membres patrons, élus par les patrons et de membres ouvriers élus par les ouvriers. Ils ont pour mission de concilier tout différend qui pourrait s'élever, à raison du travail, entre un patron et un ouvrier, et, en cas de conflit entre le groupe entier des patrons et celui des ouvriers, de tenter tous ses efforts pour entretenir la bonne entente et prévenir les grèves.

Une telle institution due à l'initiative privée ne peut que rendre de grands services; elle n'empêchera pas que des grèves éclatent encore dans les industries où elle fonctionnera, mais elle aura cet excellent effet d'en prévenir un certain nombre et ce sera déjà beaucoup. Les conseils permanents de conciliation se sont développés à l'étranger; il n'en est pas de même en France, où l'on n'en compte qu'un petit nombre relativement. Ils ont donné d'excellents résultats, qui sont de nature à engager les patrons et les ouvriers à en établir partout.

Il peut être utile de donner, à titre d'exemples, des règlements adoptés par des conseils permanents de conciliation existant en France.

Conseil permanent de conciliation de la papeterie. — Les statuts de ce conseil ont été préparés par les délégués patrons nommés par la Chambre syndicale du papier et les délégués ouvriers nommés par la Chambre syndicale des ouvrières et ouvriers papetiers. Ils ont été approuvés à l'unanimité par chacune de ces deux Chambres, par la Chambre ouvrière, le 23 novembre 1873, par la Chambre patronale le 5 décembre 1873. Ils ont été revisés par les délégués des deux Chambres le 23 janvier 1889.

Statuts

Article premier. — Il est établi un Conseil syndical mixte composé de huit membres du deuxième comité de la Chambre syndicale du papier et de huit membres de la Chambre syndicale des ouvrières et ouvriers papetiers.

Ce conseil a pour mission de concilier tout différend qui pourrait s'élever, à raison du travail, entre un patron et un ouvrier, et serait volontairement porté devant lui avant tout recours à la juridiction des Prud'hommes.

Un jour fixé de chaque semaine sera déterminé pour les séances du Conseil syndical, mais il ne se réunira que sur convocation et qu'autant qu'il y aurait des contestations à examiner.

Pour l'examen desdites contestations, il suffira de six membres au plus, dont trois patrons et trois ouvriers. Le Conseil établira l'ordre de ses séances et le roulement des membres qui assisteront à chacune d'elles.

Art. 2. — En cas de conflit entre le groupe entier des patrons et celui des ouvriers, le Conseil mixte devra se réunir et tenter tous ses efforts pour établir la bonne entente et prévenir les grèves.

Art. 3. — Des registres affectés à l'inscription de demandes et offres d'emploi pour employés, ouvriers, ouvrières et apprentis de la papeterie, seront déposés au siège de la Chambre syndicale du papier. En outre, la Chambre syndicale du papier, instruite par la Chambre syndicale des ouvrières et ouvriers papetiers, s'occupe de placer les ouvrières et ouvriers en chômage, en donnera avis à ses adhérents, en les invitant à s'adresser à l'une des deux Chambres, quand ils auront besoin d'ouvriers ou d'ouvrières.

Règlement

Article premier. — Le bureau du Conseil syndical mixte se compose d'un président et d'un secrétaire qui sont élus pour un an et pris, indistinctement, l'un parmi les patrons, l'autre parmi les ouvriers.

Les élections du bureau ont lieu au mois de janvier au scrutin secret et à la majorité absolue des suffrages.

Art. 2. — Une réunion de tous les membres du Conseil aura lieu sur convocation du président, par lettres adressées cinq jours à l'avance, le troisième mercredi de chaque trimestre, en janvier, avril, juillet et octobre, à huit heures et demie du soir, au siège de la Chambre syndicale du papier et des industries qui le transforment, 10, rue de Lancry (hôtel des Chambres syndicales).

Les questions intéressant l'industrie de la papeterie seront portées à l'ordre du jour pour y être examinées en commun et, s'il y a lieu, être soumises à un vote.

Pour délibérer valablement, le Conseil doit réunir au moins la moitié de ses membres, patrons ou ouvriers.

Le vote a lieu à main levée.

Art. 3. — En outre, le Conseil se réunira sur convocation spéciale du président chaque fois qu'il sera saisi d'une ou plusieurs affaires.

Pour examiner les différends soumis au Conseil, tous les membres présents auront voix consultative, mais les résolutions ne seront votées que par un nombre égal de patrons et d'ouvriers, tous désignés par le sort, excepté le président et le secrétaire qui seront désignés d'office pour prendre part au vote.

Art. 4. — Le Conseil peut décerner, par une délibération spéciale, le titre d'honoraire à ceux de ses membres qui auraient rendu des services exceptionnels audit Conseil.

Les membres honoraires assistent aux séances du Conseil avec voix consultative, à moins qu'ils n'en fassent partie comme délégués par leur Chambre respective, auquel cas ils auront voix délibérative.

Ce Conseil mixte a diminué le nombre des affaires soumises au Conseil des Prud'hommes ; les intéressés ont vite reconnu que la compétence d'un Conseil mixte, strictement corporatif, était, dans la plupart des cas, plus sérieuse que celle du Conseil des Prud'hommes, composé d'éléments divers. Il paraîtrait que, depuis 1874, il n'y aurait pas eu de grève dans cette industrie (1).

Commission arbitrale des patrons et ouvriers typographes de Rouen. — Cette Commission a été constituée en 1877 avec le règlement suivant :

Article premier. — Une Commission arbitrale permanente, composée en nombre égal de patrons et ouvriers, élue par les deux Chambres syndicales, est constituée dans le but d'établir entre celles-ci des rapports réguliers pour tout ce qui concerne les besoins de l'imprimerie et de juger les différends qui viendraient à s'élever au sein de la typographie ; elle connaitra spécialement de toutes les contestations qui pourraient lui être soumises, à l'occasion, soit des dispositions contenues dans le tarif des prix de main-d'œuvre, soit de tous les cas non prévus se rattachant à ses principes.

(1) Office du Travail. *De la conciliation et de l'arbitrage*, page 502.

Art. 2. — La Commission arbitrale permanente se compose de six membres (trois patrons et trois ouvriers) ; elle votera en commun, mais à égal nombre de patrons et d'ouvriers, et sera présidée alternativement par un patron et par un ouvrier.

Cette Commission sera renouvelée, chaque année, au mois de janvier. Les membres sortants sont rééligibles.

D'après une lettre écrite le 5 octobre 1892 par M. G. Robert, président du Syndicat, le pacte de 1877 a porté ses fruits : ni les patrons, ni les ouvriers ne songent à le rompre. Lorsqu'une petite difficulté se produit, de la part des ouvriers, elle est portée en premier lieu devant la Chambre syndicale et elle est généralement aplanie avant d'aller plus loin.

G. Féolde.

SUR LE CALCUL DES PLAQUES ÉLASTIQUES MINCES

ET LE

ROLE DES TIRANTS DANS LES POUTRES EN CIMENT ARMÉES

PAR

M. F. CHAUDY

I

Sur le calcul des plaques élastiques minces.

Les plaques élastiques minces, dont on fait usage dans certaines constructions, affectent la forme rectangulaire, carrée ou circulaire. A cause même de leur faible épaisseur, et pour les empêcher de prendre une flèche trop considérable sous l'action des charges qu'elles devront supporter, on les rive sur leur appui à la périphérie ou, tout au moins, dans le cas des plaques carrées ou rectangulaires, à la limite marquée par deux côtés parallèles. Généralement ces plaques ont à supporter des charges uniformément réparties. Même dans ces conditions, l'étude exacte de leur résistance est très longue. Or, il faut au constructeur une formule qu'il puisse appliquer rapidement et avec la certitude qu'elle lui donnera, sinon l'effort exact produit dans la plaque, mais un effort supérieur à celui-ci. Si la tension ainsi calculée ne dépasse pas, par unité de surface, le coefficient de résistance propre à la matière dont la plaque est composée, on pourra conclure que, *a fortiori*, la tension rigoureusement produite ne dépassera pas, elle non plus, ce coefficient imposé. La présente note a pour but de donner une formule approchée pour le calcul des plaques élastiques minces.

I. — Considérons *(fig. 1)*, une lame mince dont la section transversale rectangulaire a pour valeur Ω. Cette lame est rivée à ses deux extrémités, et sa longueur est $2l$ entre les axes de deux rivets opposés. Elle est chargée sur toute sa longueur d'un poids uniformément réparti de p kilos par mètre courant. Nous supposons que, en raison de la faible épaisseur de la lame, la résis-

tance de celle-ci à la flexion est négligeable à côté de sa résistance à l'extension. C'est dire que, sous l'action de la charge uniformément répartie, la lame fléchit en prenant la forme d'une parabole qui, rapportée à son axe et à la tangente au sommet, a pour équation :

$$y^2 = \frac{l^2}{f} \cdot x,$$

en représentant par f la flèche produite, c'est-à-dire le déplacement élastique vertical du milieu de la lame.

Cette flèche f étant très faible, nous pouvons regarder la tension Q de la lame comme constante dans toutes les sections. Écrivons alors qu'il y a égalité entre le travail extérieur de déformation et le travail intérieur. Le travail extérieur a pour expression :

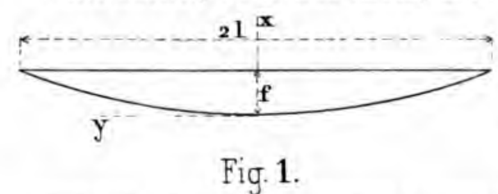


Fig. 1.

$$T_e = \frac{1}{2} \int_0^l pxdy,$$

ou, en remplaçant x par sa valeur $\frac{fy^2}{l^2}$:

$$T_e = \frac{1}{2} \frac{pf}{l^2} \int_0^l y^2 \, dy = \frac{1}{2} \cdot \frac{pfl}{3}.$$

Le travail intérieur est, d'autre part :

$$T_i = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{Q^2}{E\Omega} dy = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2 l}{E\Omega},$$

en représentant par E le coefficient d'élasticité longitudinale de la matière dont est composée la lame.

L'égalité $T_e = T_i$ nous donne :

$$\frac{pfl}{3} = \frac{Q^2 l}{E\Omega}. \qquad (1)$$

D'un autre côté, le moment fléchissant étant nul dans toutes les sections de la lame, puisque nous négligeons sa résistance à la flexion, il en résulte la relation :

$$Qf = \frac{pl^2}{2}. \qquad (2)$$

Des équations (1) et (2) nous tirons :

$$Q = \sqrt[3]{\frac{p^2 l^2 E\Omega}{6}}. \qquad (3)$$

II. — Pour faire usage de cette formule dans le calcul des plaques minces chargées uniformément, il suffit de considérer une bande découpée dans ces plaques parallèlement au petit côté ou suivant un diamètre. Si une pareille bande résiste dans de bonnes conditions, d'après le résultat fourni par la formule (3), on sera assuré que la plaque tout entière est convenablement établie.

Considérons, par exemple, une plaque rectangulaire de 10 *mm* d'épaisseur, dont la plus petite portée est de 3 *m*. Elle est chargée d'un poids uniformément réparti de 300 *kg* par mètre carré. En appliquant la formule (3) à une bande de 10 *mm* de largeur, nous obtenons :

$$Q = \sqrt[3]{\frac{9 \times \overline{1,5}^2 \times 18 \times \overline{10}^9 \times 0,0001}{6}} = 182\ kg,$$

ce qui fait 1,82 *kg* pour la résistance par millimètre carré de section.

La flèche produite a pour valeur :

$$f = \frac{3 \times \overline{1,5}^2}{2 \times 182} = 0,0185\ m.$$

III. — La formule (3) ne tient aucun compte des effets de la rivure des petits côtés d'une plaque rectangulaire. Elle n'est exacte d'une manière rigoureuse que dans le cas où une rivure existe seulement sur les grands côtés.

Supposons une rivure périphérique totale. La formule considérée donne une *limite supérieure* de la résistance des fibres parallèles aux petits côtés. Il est facile d'en déduire une *limite supérieure* de la résistance des fibres parallèles aux grands.

Pour le petit côté, on a *(fig. 2)* :

$$Q = \sqrt[3]{\frac{p^2 l E\Omega}{6}},$$

avec :

$$f = \frac{pl^2}{2Q}.$$

La valeur de p se déduira immédiatement de la charge par

mètre carré P existant sur la plaque, de l'épaisseur e de celle-ci et de la section transversale Ω de la bande considérée. On aura :

$$p = \frac{\Omega}{e} \cdot \mathrm{P}.$$

Dans le sens du grand côté, on aura d'abord :

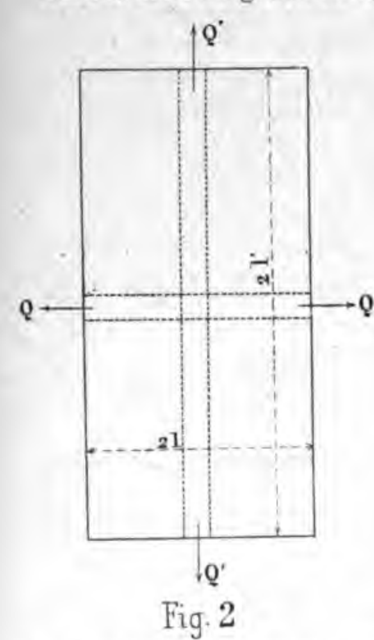


Fig. 2

$$\mathrm{Q}' = \sqrt[3]{\frac{p'^2 l' \mathrm{E}' \Omega'}{6}}.$$

En outre, comme les flèches f' et f doivent être les mêmes :

$$f' = \frac{p' l'^2}{2\mathrm{Q}'} = f,$$

en éliminant p' entre ces deux équations, il vient :

$$\mathrm{Q}' = \frac{2}{3} \cdot \frac{f'^2 \mathrm{E}' \Omega'}{l'^3},$$

ou encore, pour résistance par unité de surface :

$$\frac{\mathrm{Q}'}{\Omega'} = \mathrm{R} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f'^2 \mathrm{E}'}{l'^3}.$$

Le coefficient d'élasticité E est celui de la matière dans le sens du laminage; le coefficient E' est celui de la matière dans le sens perpendiculaire.

II

Sur le rôle des tirants dans les poutres en ciment armées.

Considérons une poutre en ciment dans l'intérieur de laquelle est noyé, vers la partie inférieure, un fer F que montre la coupe transversale ci-contre (*fig. 1*). Lorsque cette poutre fléchit sous l'action d'efforts transversaux, les fibres fictives de ciment voisines des fibres fictives de fer s'allongent de quantités égales. Il en résulte que si le fer travaille à 8 *kg* par millimètre carré de section le ciment voisin supporte un effort de traction compris entre 20 et 80 *kg* par centimètre carré, en admettant que le

rapport entre les coefficients d'élasticité du fer et du ciment soit compris entre 40 et 10, selon la nature du ciment employé. Il est bien évident qu'un taux aussi élevé de travail ne saurait être accepté en construction stricte. Aussi est-ce notre but dans cette note de montrer de quelle manière on peut supprimer l'inconvénient que nous signalons.

Si on rencontre cet inconvénient avec les poutres qu'on a jusqu'ici construites, cela tient à ce qu'on ne place pas le tirant métallique dans les conditions qui lui permettent de jouer son véritable rôle. Celui-ci consiste à obvier formellement à la production des grandes tractions dans le ciment. Le fer noyé dans la masse du ciment ne résout pas le problème. La solution de celui-ci se trouve dans *l'emploi d'une barre tendue initialement avant l'action de toute charge transversale et comprimant la région de la poutre que cette charge soumettra à des efforts d'extension.* Compression d'un côté, extension de l'autre, ces effets s'annuleront en partie de telle manière que si l'extension prédomine, cette prédominance soit acceptable.

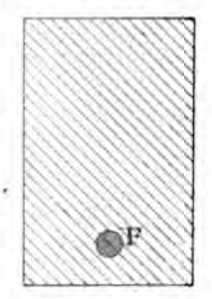
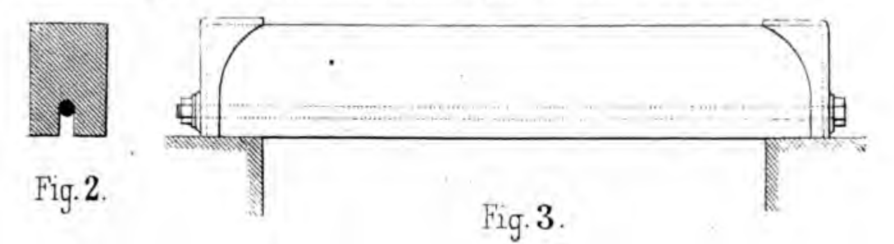


Fig. 1.

Pour faire saisir la justesse de ce principe, reprenons la poutre de la figure 1, mais pratiquons une encoche longitudinale pour y loger le fer qui se trouve ainsi libre et non plus noyé dans la masse solide. Aux extrémités de la poutre, plaçons deux chapeaux en fonte que le fer rond traversera *(fig. 2 et 3)*. Ce fer rond est un


Fig. 2. Fig. 3.

véritable boulon. Serrons-le en interposant entre l'écrou et le chapeau une ou plusieurs rondelles à ressort (Grover, Belleville, etc.), serrons-le jusqu'à complet aplatissement de ces rondelles. L'effet de ce serrage sera de tendre le fer et de comprimer la région inférieure du ciment.

Si la poutre a la forme de la figure 4, le centre de gravité de la partie ciment est au milieu de la hauteur a. Soient ω et Ω les sec-

tions transversales respectives du fer et du ciment, ρ le rapport entre les coefficients d'élasticité de ce fer et du ciment employé.

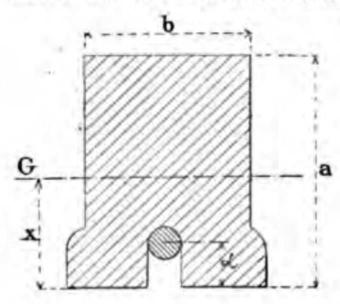


Fig. 4.

On devra considérer un centre de gravité de l'ensemble fer et ciment déterminé par la relation :

$$\Omega\left(\frac{a}{2}-x\right)=\rho\omega\,(x-\alpha).$$

Le moment d'inertie total sera :

$$\mathrm{I}=\frac{b}{3}\left[(a-x)^3+x^3\right]+\rho\omega\,(x-\alpha)^2.$$

Enfin, si le moment fléchissant maximum est désigné par μ, la résistance maximum du ciment par centimètre carré à l'extension sera donnée par la formule :

$$\mathrm{R}=\frac{x\mu}{\mathrm{I}\times 10^4}.$$

Celle du fer, par millimètre carré, sera :

$$\mathrm{R}'=\rho\,\frac{(x-\alpha)\mu}{\mathrm{I}\times 10^6}.$$

Ceci suppose un fer rond non tendu initialement. Si on fait usage de rondelles-ressorts donnant un effort de traction F, la résistance du fer deviendra :

$$\mathrm{R}'_1=\rho\,\frac{(x-\alpha)\mu}{\mathrm{I}\times 10^6}+\frac{\mathrm{F}}{\omega\times 10^6}.$$

Enfin, celle du ciment sera :

$$\mathrm{R}_1=\frac{x\mu}{\mathrm{I}\times 10^4}-\frac{2\mathrm{F}}{3b\alpha\times 10^4}.$$

On pourra toujours prendre F assez grand pour faire en sorte que cette dernière valeur soit acceptable, tout en ayant pour R'_1 un chiffre voisin de 8 *kg*.

Nous avons à peine besoin de faire remarquer que l'emploi des rondelles permettra toujours de donner la traction voulue dans le fer. Une simple expérience faite préalablement fera connaître la charge d'aplatissement de cet organe.

Enfin, il va de soi également que l'usage des tirants à ressort, que nous indiquons ici pour les poutres en ciment, peut être étendu à tous les genres de poutres armées, faites de matière résistant beaucoup moins à l'extension qu'à la compression, notamment aux poutres en fonte.

EXPÉRIENCES
SUR LA
CONDENSATION DES MACHINES A VAPEUR
A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES

PAR

Ch. COMPÈRE

INGÉNIEUR-DIRECTEUR DE L'ASSOCIATION PARISIENNE DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

Le présent travail a pour but de communiquer à la Société les résultats d'une série d'essais entrepris autrefois par nous au Creusot sur la quantité d'eau nécessaire à la condensation des machines à vapeur.

Ces résultats montrent qu'en somme, lorsqu'on est limité dans la dépense d'eau, on peut encore adopter la condensation, sans diminuer sensiblement l'économie des machines à vapeur : c'est là un résultat utile à faire connaître, surtout dans la région parisienne, où il n'est pas toujours possible d'avoir de l'eau d'un puits, et où l'eau de la Ville n'est livrée qu'à un prix assez élevé

Ces essais ont été faits sur une machine Corliss du type construit tout d'abord par le Creusot.

Le condenseur de cette machine était placé à l'arrière du cylindre à vapeur; la pompe à air était formée par un plongeur monté sur le prolongement de la contre-tige du piston. Cette pompe à air était à simple effet; ses clapets étaient métalliques, du type Corliss; c'est grâce à ce que ces clapets étaient métalliques, que nous avons pu condenser à des températures élevées, telles que 73°.

Dimensions de la machine.

Les dimensions principales de la machine étaient les suivantes :

Diamètre du piston du cylindre à vapeur . .	559 *mm*
Course du piston.	1 219 *mm*
Nombre de tours moyen.	55 *t*
Diamètre du plongeur de la pompe à air . .	267 *mm*
Course	1 219 *mm*
Rapport des volumes engendrés par le piston de la machine à vapeur et le plongeur de la pompe à air.	5

Dispositions prises pour les essais.

La quantité d'eau froide injectée au condenseur était mesurée par un compteur Samain préalablement vérifié; la température de cette eau était relevée en faisant couler l'eau d'un petit robinet placé sur l'arrivée au compteur.

La température de l'eau chaude rejetée du condenseur était prise directement dans le compartiment de refoulement du condenseur dont la porte était enlevée.

Le condenseur était muni d'un manomètre de vide à mercure.

Des diagrammes ont été relevés sur la machine pour en connaître le travail et rapporter par suite la consommation de vapeur au cheval indiqué.

Une chaudière spéciale n'ayant pu être installée pour alimenter la machine, la consommation de vapeur de cette machine a alors été établie par la méthode calorimétrique, basée sur l'augmentation de température du poids d'eau injectée au condenseur, ainsi que cela a été pratiqué en Alsace.

Cette méthode permet, en effet, de trouver la consommation de la manière suivante:

Soit:

x le poids de vapeur dépensé dans un temps donné;

Q le volume d'eau injectée au condenseur pendant le même temps;

f la température moyenne de l'eau rejetée du condenseur;

i la température moyenne de l'eau injectée au condenseur;

T le travail en kilogrammètres pendant le même temps.

On a, la vapeur étant sèche:

$$x\,[606{,}5 + 0{,}305\,t - f] - \frac{T}{425} = Q\,[f - i], \qquad (1)$$

t étant la température correspondante à la pression de la vapeur, d'après les tables de Regnault;

$\frac{T}{425}$ étant la chaleur absorbée pour la production du travail.

Mais des expériences préalables m'ayant donné une proportion d'humidité dans la vapeur égale à 4 0/0, la formule précédente doit être corrigée et devient alors:

$$x\,[m(606{,}5 + 0{,}305\,t) + (1 - m)\,q - f] - \frac{T}{425} = Q\,(f - i), \qquad (1\ bis)$$

m étant la proportion de vapeur sèche, soit 96 0/0 ;

q étant la chaleur contenue dans 1 *kg* d'eau à la température de la vapeur ;

$$q = t + 0{,}00002\, t^2 + 0{,}0000003\, t^3 ;$$

Nous avons pris $q = t$.

Dans cette formule, nous ne tenons pas compte du refroidissement extérieur et de la chaleur produite par le frottement des pistons, dont les valeurs sont peu importantes.

Nous avons également relevé des diagrammes sur la pompe à air à l'aide d'un indicateur placé sur le compartiment dans lequel se meut le plongeur.

Marche des essais.

Lorsque, pour une ouverture donnée du robinet d'injection, la vitesse de la machine et la température de l'eau chaude rejetée du condenseur étaient bien constantes, nous relevions le chiffre du compteur ; des diagrammes étaient pris sur le cylindre à vapeur et sur la pompe à air pendant l'essai, qui durait de 8 à 10 minutes.

Les résultats et les calculs des essais sont consignés dans le tableau I.

Dans ce tableau, le poids d'eau injectée par cheval indiqué et par heure n'a été inscrit que pour mémoire, bien que ce soit le plus souvent, mais à tort, d'après cet élément qu'est établie la dépense d'eau du condenseur ; cette dépense serait évidemment très variable d'une machine à une autre, suivant la quantité de vapeur absorbée par cheval-heure.

Le poids d'eau injectée par kilogramme de vapeur consommée doit seul intervenir dans ces calculs.

Ces divers résultats d'essais sont représentés graphiquement par le tracé *(Pl. 122)*, dans lequel les températures de condensation sont prises en abcisses.

Ce tracé comporte :

1° La courbe de la consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure ;

(Pour que cette courbe soit à plus grande échelle, nous avons supposé que l'axe des abcisses représentait déjà 7 *kg*).

2° La courbe des pressions réelles au condenseur ;

3° La courbe du volume d'eau injectée au condenseur par cheval indiqué et par heure ;

4° La courbe de ce même volume par kilogramme de vapeur consommée.

Cette courbe est une hyperbole équilatère satisfaisant à l'équation :

$$xy_1(x_1 - i) = x[m(606{,}5 + 0{,}305t) + (1 - m)t - x_1] - \frac{T}{425}, \qquad (2)$$

qui n'est autre que l'équation (1 *bis*), dans laquelle :

$$f = x_1,$$

et

$$\frac{Q}{x} = y_1,$$

x_1oy_1 étant les axes de coordonnées.

Les asymptotes de cette hyperbole ont pour équations :

$$y_1 = -1,$$

et

$$x_1 = i.$$

Cette dernière relation montre, comme il est facile de le prévoir, qu'il faut un volume d'eau infini pour arriver à condenser de telle façon que la température de l'eau rejetée soit égale à celle de l'eau injectée.

D'après ces résultats d'expérience, on voit que l'eau d'injection étant à 10°, on peut réduire de moitié la dépense d'eau d'injection en condensant à 40° au lieu de 25°, sans que la consommation de vapeur par cheval s'élève beaucoup, de 7,4 à 8 *kg* seulement.

Cette conclusion est très intéressante, comme je l'ai dit plus haut, dans le cas où l'on est obligé de payer l'eau à un prix élevé, ou quand il faut forer un puits et établir une pompe.

Étude des pressions au condenseur et des contre-pressions réelle et effective au cylindre.

Les diagrammes relevés sur la pompe à air et le cylindre à vapeur nous ont permis de compléter ces divers résultats d'essais ; nous avons pu obtenir, en effet, la loi des contre-pressions réelle et effective au cylindre.

La pression au condenseur, relevée au manomètre à fin d'échappement, est, d'après la loi du mélange des gaz et des vapeurs, le total :

1° De la pression de la vapeur h' dans le condenseur, à la température de la condensation (donnée par les tables de Regnault) ;

2° De la pression h'' de l'air dans le condenseur, variable avec le type du condenseur, son entretien et son bon fonctionnement; cette pression est obtenue, pour chaque température de condensation, par la différence entre la pression au condenseur donnée par le manomètre à vide et la pression correspondante de la vapeur : cette pression h'' croît un peu avec la température de condensation.

La pression au cylindre h est obtenue par la différence entre la pression barométrique du jour $P_a = 0,741$ et le vide P donné par les diagrammes relevés sur le cylindre, au-dessous de la ligne atmosphérique, à l'échelle des ressorts de l'indicateur, soit $P_a - P = h$.

La différence $h - (h' + h'')$ entre la pression au cylindre et celle au condenseur est la perte de charge pendant l'écoulement de la vapeur entre le cylindre et le condenseur; cette perte va en croissant avec la pression, c'est-à-dire avec la température de condensation, ce qu'il était facile de prévoir.

Les diverses valeurs de ces pressions sont consignées dans le tableau II et sur le tracé graphique.

Telle est la loi des contre-pressions réelles au cylindre ; nous avons pu, sur cette loi, greffer celle des contre-pressions effectives, en tenant compte du travail de la pompe à air.

Travail de la pompe à air.

Ce travail peut, en effet, être traduit en contre-pression au cylindre et intervient dans le rendement de la machine, c'est-à-dire dans la différence entre le travail indiqué sur le piston T_m et le travail recueilli sur l'arbre T_u de la manière suivante :

$$T_u = T_m - T_f - T_p.$$

T_f étant le travail des frottements,
et T_p le travail de la pompe à air.

Le travail T_m est égal à K (P — h) N ;
K, constante ;
N, nombre de tours ;
P — h, ordonnée des diagrammes relevés sur le cylindre à vapeur ;
P, pression moyenne absolue sur le piston ;
h, contre-pression à l'échappement.

Le travail de la pompe à air T_p peut être transporté dans le travail indiqué sur le piston T_m, en augmentant la contre-pression réelle d'une quantité h_1, et par suite en diminuant l'ordonnée moyenne $P - h$ du diagramme.

En effet, soit o l'ordonnée moyenne en kilogrammes par centimètre carré du diagramme relevé sur la pompe à air, et h_o sa valeur exprimée en centimètres de mercure, on aura :

$$h_1 = h_o \times 1/2 \times 1/5,$$

1/5 étant le rapport des volumes engendrés par le piston vapeur et le piston plongeur de la pompe à air, et 1/2 tenant compte de ce que la pompe à air est à simple effet seulement.

Le travail sur l'arbre, le seul à considérer, devient :

$$T_u = T'_m - T_f$$

$$T'_m = K(P - H_1)N \qquad H_1 = h + h_1.$$

Ces résultats sont consignés dans le tableau II et sur le tracé graphique *(Pl. 122)*.

Ils montrent que le travail résistant de la pompe à air va en augmentant quand on condense plus froid.

Après ces essais, nous avons fait quelques relevés complémentaires en augmentant le volume d'eau d'injection pour condenser de plus en plus froid ; pour ces relevés, nous avons dû supprimer le compteur d'eau devenu insuffisant.

Nous nous sommes d'abord rendu compte que, la température de condensation étant de 14°,7, et la pression au condenseur étant de 6,2 *cm* de mercure, en cherchant à abaisser la température à 13°,7, 13°,5, 13°,2, la pression au condenseur est montée à 6,3 *cm*, 6,6 *cm*, 6,7 *cm* ; la pression réelle, d'après la ligne d'échappement tracée sur les diagrammes, s'est élevée parallèlement ; ces résultats proviennent surtout de l'engorgement du condenseur, et ils montrent que, tout d'abord, il n'y avait pas intérêt, dans le cas de nos expériences, à condenser à une température inférieure à 15°,8.

De plus, en tenant compte du travail important absorbé alors par la pompe à air, on voit que la contre-pression effective que crée ce travail rend nuisible la condensation froide à une température même supérieure à 15°,8. La température de condensation au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre, alors même que l'on disposerait d'eau en proportion illimitée, est donnée par l'ordonnée minimum de la courbe des contre-pressions effectives au cylindre, soit 22°,5, dans notre cas où la température de l'eau

d'injection était 10°. Ce minimum doit varier naturellement avec la température de l'eau injectée.

Dans tous les cas, en condensant au-dessous de ce minimum, on diminue le rendement de la machine et on augmente par suite la consommation de vapeur par cheval et par heure.

A titre de documents, nous donnons ci-joint *(Pl. 122)* les diagrammes relevés sur la pompe à air à diverses températures de condensation au-dessous de 22°,5, température qui correspond à la contre-pression effective minimum.

Le premier diagramme (n° 1), relevé pour cette température et un vide de 68 *cm* de mercure environ, montre qu'à cette allure les clapets de refoulement ne se soulèvent qu'un instant, à fin de course du plongeur. Les diagrammes suivants (n°s 2, 3, 4), relevés pour des températures de condensation plus froides, montrent que les clapets de refoulement se soulèvent de plus en plus tôt en augmentant de plus en plus le travail de contre-pression de la pompe à air, et que le vide, après être monté à 70 *cm*, redescend à 66 *cm*, par suite de l'engorgement du condenseur.

A la température minimum de condensation, 22°,5, le travail de la pompe à air donné par les diagrammes a été trouvé de 2,50 *ch* environ.

Conclusions.

Telles sont les expériences que j'ai cru utile de vous faire connaître; elles montrent, en résumé :

1° Qu'on peut diminuer de beaucoup la dépense d'eau nécessaire à la condensation sans augmenter sensiblement la consommation de vapeur par cheval, ce qui est intéressant lorsque le prix de cette eau est élevé ; il est bien entendu que les condenseurs à eau régénérée répondent à cette préoccupation de prix, mais ces appareils ne rentraient pas dans le cadre de mes expériences ;

2° Que, lorsqu'on dispose d'eau, même en quantité illimitée, si on cherche à condenser à une température trop basse, la consommation de la machine se trouve augmentée.

EXPÉRIENCES SUR LA CONDENSATION DES MACHINES A VAPEUR A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES

Variation du poids d'eau injectée au condenseur et de la consommation de vapeur pour différentes températures de condensation.

TABLEAU I

NUMÉROS DES ESSAIS	PRESSIONS au CONDENSEUR en centimètres de mercure données par le manomètre du vide	TEMPÉRATURES de L'EAU INJECTÉE au condenseur	TEMPÉRATURES de L'EAU REJETÉE du condenseur	DURÉE de L'ESSAI en minutes	EAU INJECTÉE au condenseur pendant l'essai	PRESSIONS EFFECTIVES de la vapeur au tuyau	NOMBRE de TOURS par minute	TRAVAIL en CHEVAUX	CONSOMMATION DE VAPEUR HUMIDE		CONSOMMATION D'EAU D'INJECTION		
									pendant tout l'essai	par cheval indiqué et par heure	pendant tout l'essai (eau ramenée à 10°) par la formule $Q'=Q\frac{f-i}{f-10}$	par cheval indiqué et par heure	par kilogramme de vapeur consommée
1	6,4	10° 5	20° 2	10	8 000 *l*	4,150 *kg*	55	119,8 *ch*	147,23	7,374 *kg*	7 608 *l*	381,28 *l*	51,67 *l*
2	7,0	10° 4	20° 25	10	5 470	4,050	54,8	123,0	155,33	7,381	5 326	259,80	34,29
3	7,9	10° 0	30° 8	10	4 150	3,800	54,2	127,0	165,93	7,805	4 150	196,06	25,01
4	9,4	9° 3	37°	10	2 870	4,000	54,6	116,0	154,10	7,970	2 944	152,28	19,10
5	10,0	9° 0	39° 4	10	2 930	3,800	54,9	130,0	173,52	8,009	3 030	140,262	17,46
6	13,1	10° 4	47° 73	10	2 370	3,500	54,3	125,0	174,29	8,366	2 345	107,760	13,45
7	15,7	10° 4	53° 23	10	2 200	3,500	54,6	130,0	186,82	8,622	2 180	100,620	11,67
8	19,5	10° 9	58° 8	10	1 845	4,200	54,7	121,5	176,30	8,706	1 810	89,382	10,27
9	32,5	10° 8	73° 2	6	940	4,200	54,17	124,0	118,84	9,504	928	74,810	7,82

EXPÉRIENCES SUR LA CONDENSATION DES MACHINES A VAPEUR A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES

Variations des contre-pressions effectives et réelles au cylindre à vapeur. TABLEAU II

TEMPÉRATURES de L'EAU REJETÉE du CONDENSEUR f	PRESSIONS AU CONDENSEUR (à fin échappt AR) donnée par LE MANOMÈTRE à mercure du vide $H = (h' + h'')$ cm	PRESSIONS de la VAPEUR saturée à la température de condensation h' cm	PRESSIONS de L'AIR dans le condenseur h'' cm	CYLINDRE A VAPEUR (moyenne entre l'AV et l'AR) — VIDE MOYEN pendant l'échappement P cm	CYLINDRE A VAPEUR — CONTREPRESSION moyenne pendant l'échappement $P_a - P = h$ cm	PERTE entre la CONTRE-PRESSION moyenne AU CYLINDRE pendant l'échappement et la pression au condenseur à fin échappt AR. $[h - (h' + h'')]$ cm	POMPE A AIR — NOMBRE de TOURS N	POMPE A AIR — ORDONNÉE MOYENNE en kilogr. par centimètre carré (O)	POMPE A AIR — ORDONNÉE MOYENNE en centimètres de mercure (h_o)	POMPE A AIR — ORDONNÉE MOYENNE en centimètres de mercure transportés sur le piston à vapeur $h_1 = \frac{h_o}{10}$	POMPE A AIR — TRAVAIL en CHEVAUX T_p	CONTRE-PRESSION EFFECTIVE TOTALE au cylindre à vapeur
73,2	32,5	26,74	5,76	33,3	40,8	8,3	54,17	»	»	»	»	»
58,8	19,5	14,07	5,43	47,9	26,2	6,7	54,7	0,200	14,7	1,47	1,434 ch	27,67
53,23	14,7	10,70	5,00	51,9	22,2	6,5	54,6	0,204	15,0	1,50	1,462	23,70
47,73	13,1	8,20	4,90	55,7	18,4	5,3	54,3	0,221	16,2	1,62	1,575	20,02
39,4	10,0	5,31	4,69	59,1	15,0	5,0	54,9	0,298	21,8	2,18	2,145	17,18
37,0	9,4	4,66	4,74	60,5	13,6	4,2	54,6	0,167	12,3	1,23	1,190	14,83
38,8	7,9	3,30	4,60	62,0	12,1	4,2	52,2	0,254	18,7	1,87	1,800	13,97
25,25	7,0	2,38	4,62	63,1	11,0	4,0	54,8	0,315	23,2	2,32	2,260	13,32
20,2	6,4	1,75	4,65	63,7	10,4	4,0	55,0	0,408	30,0	3,00	2,950	13,40
Températures obtenues après enlèvement du compteur à eau. 18 »	6,3	1,53	4,77	On n'a pas relevé de diagramme sur le cylindre à vapeur. Soit : $h - (h' + h'') = 4,0$.	10,3	4,0	54,5	0,4025	29,6	2,96	2,880	13,26
15,8	6,2	1,33	4,87		10,2	4,0	54,5	0,528	38,8	3,88	3,780	14,08
14,7	6,2	1,24	4,96		10,2	4,0	54,5	0,636	46,7	4,67	4,540	14,87
13,7	6,3	1,17	5,13		10,3	4,0	54,5	0,708	52,1	5,21	5,060	15,51
13,5	6,6	1,15	5,45		10,6	4,0	54,5	0,743	54,7	5,47	5,310	16,07
13,2	6,7	1,13	5,57		10,7	4,0	54,5	0,791	58,1	5,81	5,650	16,51

CHRONIQUE

N° 178

SOMMAIRE. — Chauffage des voitures de tramways *(suite et fin)*. — La plus puissante machine élévatoire du monde. — Vitesse des navires. — Edwin Clark. — Locomotion par la vapeur sur les routes ordinaires.

Chauffage des voitures de tramways *(suite et fin)*.

Les *tramways de Heidelberg* n'ont pas encore fait d'essais de chauffage de voitures; ils ont toutefois l'intention d'examiner de plus près la question pour l'hiver prochain. Quoique chez eux le plus long trajet à parcourir ne dure que vingt-quatre minutes, ils estiment néanmoins que le chauffage des voitures est recommandable et avantageux, à condition que ce chauffage puisse s'effectuer sans incommoder les voyageurs et sans occasionner de dépenses considérables.

Les *tramways de Cologne*, pour tenir compte du désir exprimé à diverses reprises en Allemagne, pendant ces dernières années, de voir chauffer les voitures de tramways, ont, à titre d'essai, construit et mis en service pendant l'hiver dernier, six voitures munies d'une installation de chauffage.

Ces voitures, à douze places assises à l'intérieur, ont une capacité de 11 m^3 et ont de chaque côté quatre fenêtres à châssis mobile.

L'appareil de chauffage qui y a été appliqué a été fourni par la maison Berghausen sen. de Cologne. Il se compose essentiellement d'un cylindre en tôle de cuivre à section elliptique, placé sous l'une des banquettes. L'une des extrémités de ce cylindre aboutit à la paroi de tôle de la voiture et est fermée par une petite porte en fonte; l'autre extrémité se termine par un petit tuyau d'échappement placé dans le coin de la voiture et passant par le toit; ce tuyau porte un appareil de réglage de tirage.

A l'intérieur du cylindre sont adaptés deux rails sur lesquels glisse une longue grille que l'on introduit par la porte dont il a été question. Un tuyau d'appel, dirigé de haut en bas et appliqué à la partie extérieure du cylindre, amène l'air sous la grille. Des plaques de tôle, une couche d'amiante et un treillis en fer isolent le cylindre des boiseries qui l'entourent et des vêtements des voyageurs. Un appareil de ce genre pèse de 25 à 30 *kg* et coûte, tout installé, environ 125 *f*. Des briquettes de charbon de bois comprimé servent de combustible; une demi-heure avant la mise en service de la voiture, ces briquettes sont allumées, sur un feu de forge par exemple, placées sur la grille et glissées dans la voiture où elles continuent à brûler sans nécessiter aucune surveillance.

Comme on l'a dit plus haut, les essais ont eu lieu l'hiver dernier qui a été très doux. Réglementairement, les voitures étaient chauffées lorsque le thermomètre indiquait 1° C. au-dessous de zéro. La diffé-

rence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur de la voiture était de 10 et quelquefois de 13° C., la porte de devant restant fermée. La consommation de combustible par jour, soit pour quinze heures de service, a été de sept à quinze briquettes, suivant la température et le chauffage a coûté de 0,45 à 0,90 *f*, soit en moyenne 0,67 1/2, frais d'entretien, etc., non compris.

Le chauffage a bien fonctionné et a rencontré l'approbation de nombreux voyageurs, mais il a soulevé aussi des critiques. Au point de vue climatérique, Cologne est plus avantageusement situé que la plupart des autres villes d'Allemagne, c'est-à-dire que l'hiver y est moins rigoureux et que, dans ces conditions, il est fort douteux que le chauffage des voitures soit nécessaire.

La Société pense que, dans les conditions climatériques qui se présentent à Cologne et sur les bords du Rhin, il est inutile de chauffer les voitures circulant dans l'intérieur des villes. Les voyageurs montent dans la voiture avec leurs gros vêtements d'hiver et n'y séjournent que peu de temps. Il en est autrement là où il s'agit de parcourir de longues distances ou dans des localités où la température moyenne de l'hiver est plus basse.

Les *tramways de Leipzig* n'ont pas fait d'essai de chauffage; ils pensent que, pour ce qui concerne les voitures circulant à l'intérieur des villes, il n'est ni nécessaire ni même recommandable de les chauffer. Il est plus que douteux que l'augmentation éventuelle des recettes puisse compenser l'augmentation inévitable de dépenses qu'occasionnerait le chauffage. Il est certain, d'autre part, que le chauffage des voitures donnerait lieu à des plaintes et à des réclamations sans nombre, attendu qu'il est impossible de contenter tout le monde; les uns trouveront que l'on commence trop tôt à chauffer les voitures, les autres estimeront que l'on tarde trop à le faire, les uns auront trop chaud, les autres se plaindront d'avoir trop froid.

Les *tramways de Magdebourg* considèrent également que le chauffage des voitures circulant à l'intérieur des villes n'est pas recommandable. Ils sont d'avis que le courant d'air qui s'établit dans la voiture par suite de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, chaque fois que la porte s'ouvre, est plus désagréable au voyageur que la température ordinaire d'une voiture non chauffée et peut donner lieu à bien des refroidissements et à leurs suites. Depuis deux ans, on a, pour éviter les courants d'air, appliqué à l'intérieur des voitures des tentures en frise contre les portes et à mi-hauteur des fenêtres; cette disposition a donné de bons résultats et a rapidement conquis la faveur du public.

Les *tramways de Munich* ont fait des essais au moyen de différents systèmes, sans arriver toutefois à se former encore une opinion définitive.

La *Société pour la construction et l'exploitation de chemins de fer d'intérêt local* a appliqué à Gera à sept voitures automotrices le système Berghausen, de Cologne. L'appareil est relativement simple, le chauffage se fait au moyen de briquettes au charbon de bois et les dépenses d'entretien se maintiennent dans les limites indiquées par le fabricant, c'est-à-dire varient entre 0,60 *f* et 0,85 *f* par voiture et par jour.

Les résultats de l'application du chauffage n'ont toutefois pas répondu complètement aux espérances, parce que la température moyenne de l'intérieur des voitures se maintient dans des limites très restreintes. On n'a pas constaté non plus, au cours de l'hiver dernier, pendant lequel on a mis en service pour la première fois des voitures chauffées, que le nombre des voyageurs qui prennent place dans ces dernières fût plus considérable que dans les voitures non chauffées; toutefois, dans les premières voitures du matin, utilisées surtout par les écoliers, l'élévation de température, peu considérable, il est vrai, mais néanmoins parfaitement sensible, a été trouvée très agréable.

La Société pense cependant que, dans tous les cas, il est utile de chauffer les voitures et il y a lieu d'espérer que, les essais continuant, on trouvera bientôt de nouveaux systèmes plus perfectionnés ou du moins que l'on arrivera à remédier aux inconvénients que présentent les systèmes en usage, de façon à donner satisfaction à des exigences modérées. Une des conditions principales de succès nous paraît résider dans la simplicité de la construction et du service.

Les voitures des lignes vicinales de la Société sont chauffées par des bouillottes à ailettes dans lesquelles passe la vapeur de la locomotive. Ces bouillottes sont placées sous les banquettes et reçoivent de la vapeur à trois atmosphères de pression amenée par une conduite continue passant sous toutes les voitures, raccordée par un accouplement flexible à la locomotive et qui peut être fermée par un robinet aux deux extrémités de la voiture. Six à huit bouillottes de 0,60 *m* de long et 0,15 *m* de diamètre extérieur suffisent pour chauffer convenablement une voiture à vingt-huit places assises. Pour des voitures à bancs longitudinaux, on peut employer un plus petit nombre de bouillottes plus longues.

Au tramway à vapeur de Sanct-Johann, à Luisenthal, il y a en service plusieurs voitures chauffées par ce système.

Sur le chemin de fer d'intérêt local de Ettenheimmünster au Rhin, dans le grand-duché de Bade, construit l'année dernière, on a appliqué à six voitures le système Lehmann (directeur de la traction du chemin de fer Riga-Dunabourg). Ce système est basé sur le principe suivant: De la vapeur à trois atmosphères de pression prise à la chaudière de la locomotive passe d'une conduite générale régnant sur toute la longueur du train, dans un ou deux embranchements pour chaque voiture; à l'entrée de chaque embranchement, dont la section est plus grande que celle de la conduite principale, est adapté un robinet dont le débit peut se régler avec la plus grande précision et par lequel la vapeur pénètre dans l'embranchement et les bouillottes où elle se détend et circule assez lentement pour céder la plus grande partie de son calorique à ces dernières. Au point le plus bas de la conduite de chaque voiture est adapté un tuyau de décharge destiné à l'évacuation de l'eau de condensation et qui ne laisse échapper que de l'eau si la position des robinets d'embranchement est convenablement réglée.

L'évacuation indépendante de l'eau de condensation pour chaque voiture constitue un avantage tout particulier de ce système, en ce sens que la congélation de la conduite est ainsi évitée. La vapeur qui passe dans les embranchements et les bouillottes n'a pour ainsi dire plus de

pression, ainsi que des essais l'ont démontré et par suite les voyageurs ne courraient aucun danger si des fuites venaient à se produire.

La maison Van der Zypen et Charlier, à Cologne-Deutz, qui a construit ces voitures et y a installé le système de chauffage, donnera certainement à ceux que la question intéresse les renseignements détaillés qui paraîtraient désirables.

Le système n'ayant fonctionné encore que pendant un seul hiver, et une série d'observations assez longue étant nécessaire pour déterminer dans quelle proportion la production de la vapeur absorbée par le chauffage et de celle qui est employée à la manœuvre du frein à vide influent sur la consommation de combustible, on ne peut encore donner aucun renseignement précis sur le coût du chauffage ; on peut estimer que le chauffage correspond à une consommation de charbon de 1/2 à 1 *kg* par train-kilomètre.

Les *tramways de Zürich* ont, pendant deux hivers consécutifs, fait des essais de chauffage avec trois systèmes différents :

1° Chauffage au coke ;
2° Chauffage à l'eau chaude ;
3° Chauffage au pétrole.

Le premier système n'a pas, malgré tous les efforts de celui qui avait fait l'installation, donné en pratique des résultats satisfaisants et a dû être abandonné.

En ce qui concerne le chauffage à l'eau chaude, on peut faire remarquer que ce système fonctionne depuis quelques années d'une manière satisfaisante à la Société des Tramways suisses à Genève et à Bienne, ainsi qu'aux Tramways de Berne. Une petite chaudière à double paroi est installée dans le plancher de l'une des plates-formes. Le compartiment intérieur forme le foyer alimenté au coke ou à l'anthracite, l'espace compris entre les doubles parois est rempli d'eau qui s'échauffe sous l'influence du foyer, circule à travers des tuyaux placés sur le plancher de la voiture le long des banquettes et chauffe ainsi la voiture.

Le chauffage au pétrole s'effectue au moyen d'une lampe à forte flamme placée entre les roues ; la chaleur produite par la lampe est amenée par des conducteurs spéciaux sous les banquettes. Un tuyau en tôle passant par la toiture sert à l'évacuation de la fumée et de la vapeur.

Les essais de chauffage faits pendant l'hiver 1890-1891 ont donné les résultats suivants :

Avantages du chauffage au pétrole :

1° Poids peu considérable, à vide.	20,0 *kg*
— — chargé.	1,2
TOTAL.	21,2 *kg*

2° Occupe très peu de place et ne gêne en rien les voyageurs ;
3° Propreté et facilité du service ;
4° Effet rapide.

5° Facilité de régler le chauffage d'après la température extérieure en éteignant et en rallumant la lampe ;

6° Absence complète d'odeur ;

7° Régularité de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur variant entre 9 et 11° C.

Inconvénients du chauffage au pétrole.

La flamme s'éteint par les grands vents.

Par suite de la disposition spéciale de toute l'installation, la chaleur ne peut pas rayonner du plancher ; une seule banquette, celle sous laquelle se trouve l'appareil, s'échauffe, ainsi que la couche d'air supérieure de la voiture.

Avantages du chauffage à l'eau chaude.

1° Action rayonnante partant du plancher ;

3° Différence de température de 10 à 12° C entre l'extérieur et l'intérieur.

Inconvénients du chauffage à l'eau chaude.

Poids élevé de l'appareil.

Poids à vide	116 *kg*
Charge 40 *kg* d'eau et combustible	40
TOTAL.	156 *kg*

L'appareil s'applique très difficilement aux voitures telles qu'elles sont construites. On a été obligé de couper un longeron.

Le foyer est trop petit et par suite très difficile à bien alimenter ; si le personnel n'y prête pas une attention toute particulière, le feu s'éteint et l'eau gèle instantanément dans les tuyaux.

Le feu une fois éteint, il est très difficile de le rallumer pendant le service. La plate-forme est toujours malpropre à cause de l'approvisionnement de charbon qu'il faut emporter. La cheminée qui dépasse la paroi de la voiture est d'un aspect déplaisant. En temps de neige, la neige et la glace collée aux chaussures des voyageurs, s'évapore dans la voiture et produit une buée mal-odorante.

Les dépenses d'installation sont les mêmes pour les deux appareils et s'élèvent à 200 *f* par voiture.

Les dépenses journalières ont été les suivantes :

Pour le chauffage au pétrole : 1,2 *kg* d'huile impériale à 0,35 *f*, soit 0,42 *f* par journée de 16 heures.

Pour le chauffage à l'eau chaude : coke, anthracite et charbon de bois, 0,55 *f* pour un chauffage continu de 24 heures par jour.

Les considérations suivantes :

1° La difficulté que présente toujours le service du chauffage ;

2° L'augmentation, considérable dans certains cas, du poids mort des voitures ;

3° L'inutilité du chauffage des voitures en général, parce que :

a) Les voyageurs ne séjournent en moyenne que 10 à 15 minutes dans la voiture ;

b) Les voyageurs ne se débarrassent jamais de leurs pardessus pendant le trajet, et restent par conséquent, vêtus d'après la température ;

c) Les voyageurs sont plus exposés à contracter des refroidissements par suite des variations de température et des courants d'air qui se produisent dans les voitures chauffées;

d) La neige souillée qui adhère aux extrémités et fond dans la voiture répand une mauvaise odeur qui persiste pendant toute la durée du voyage,

doivent faire considérer le chauffage des voitures comme étant une innovation peu recommandable.

En conséquence, l'administration des tramways de Zürich a décidé de ne pas donner suite à ces essais et de ne pas continuer à chauffer les voitures, et les autorités se sont ralliées à cette manière de voir.

Nous compléterons ce qui précède par quelques renseignements que nous avons pu recueillir nous-même. La Compagnie Générale des Tramways Suisses, qui exploite les lignes de Genève et de Bienne, chauffe toutes ses voitures, depuis bientôt vingt ans, par un système à circulation d'eau très simple et très efficace qui a été signalé plus haut. A cet effet, deux bouillottes sont installées longitudinalement sur le plancher. Ces bouillottes sont faites d'une feuille de tôle d'acier repliée, de manière à avoir une section transversale en forme de fer à cheval. Les deux branches sont réunies par un fer profilé à rebord assemblé par rivets. La section a donc la forme d'un D très allongé dans le sens horizontal. Les bouillottes sont reliées par des tubes de cuivre entre elles et à une petite chaudière à double paroi placée à l'extérieur sous une des plates-formes, et chauffée au coke. Un tuyau vertical, placé le long de la paroi de la voiture, forme cheminée et donne issue aux produits de la combustion.

Cet appareil coûte 200 *f* de frais d'établissement, il n'exige aucun entretien, si on a la précaution de faire la chaudière en tôle et non en fonte, pour éviter les ruptures accidentelles par la gelée. Le chauffage coûte de 0,30 *f* à 0,45 *f* par jour et par voiture. Ce système est installé sur une quarantaine de voitures. Ce sont des voitures de plusieurs types contenant 12 à 14 places d'intérieur et 12 à 22 sur les plates-formes, total 24 à 36 places. Il n'est question ici, bien entendu, que de voitures fermées: en été, on emploie également des voitures ouvertes contenant 46 places. On est très satisfait de ce système et on n'y trouve pas les inconvénients signalés plus haut par les Tramways de Zürich. L'objection du poids de 156 *kg* qui représente celui de deux voyageurs et correspond à 3 0/0 du poids de la voiture pleine ne saurait être considérée comme sérieuse.

L'opinion de M. Laval, Directeur de la Compagnie Générale des Tramways suisses, est tout à fait en faveur du chauffage. La dépense, qui est inférieure à 0.50 *f* par voiture et par jour, n'atteint pas 1 0/0 du montant d'une recette de 50 *f* qui n'a rien d'exagéré. C'est une proportion très minime, et ces frais déjà si bas doivent être largement couverts par l'augmentation, même très légère, de la fréquentation due au chauffage des voitures. Cette opinion d'un spécialiste distingué nous paraît avoir un grand poids.

La plus puissante machine élévatoire du monde. — La « Holly Manufacturing Company » de Lockport N. Y., vient de

monter à la station de Spring Water des eaux de Philadelphie, une paire de machines élévatoires qui est, vraisemblablement, le plus puissant appareil de ce genre qui existe actuellement.

Voici, à ce sujet, quelques détails extraits de l'*Engineering News*. Ces machines sont verticales à triple expansion et les tiges des pistons à vapeur placés à la partie supérieure actionnent directement les plongeurs des pompes situés à la partie inférieure. Les cylindres, au nombre de trois, sont placés côte à côte et reposent chacun sur deux bâtis parallèles en forme d'A; les six bâtis portent eux-mêmes sur une longue et forte plaque de fondation. Les corps de pompes sont logés entre les murs qui portent la plaque de fondation et reposent sur le rocher. Ces pompes sont à double effet et à plongeur d'un type qui rappelle celui si connu de Girard.

Les cylindres à vapeur ont les diamètres respectifs de 0,914 *m*, 1,587 *m* et 2,236 *m*. La course est pour tous les pistons de 1,524 *m*, les plongeurs des pompes ont 0,762 *m* de diamètre. La distribution de la vapeur se fait par des organes Corliss, placés dans les fonds de cylindres de manière à pouvoir réduire l'espace nuisible à 1 1/2 0/0 du volume décrit par le piston. On peut régler l'admission séparément dans chaque cylindre et cela soit à la main, soit par un régulateur de pression lorsque les pompes refoulent dans les conduites de distribution, soit enfin par un régulateur de vitesse si on refoule dans les réservoirs. L'expansion varie de 18 à 25 volumes. Les cylindres ont tous des enveloppes de vapeur recouvertes elles-mêmes d'une couche de matières isolantes. Il y a entre les cylindres des *receivers* contenant des serpentins chauffés par de la vapeur venant directement de la chaudière.

Les tiges des pistons à vapeur sont emmanchées dans une traverse de forme spéciale dont les extrémités portent des coulisseaux glissant dans des guides venus de fonte avec les bâtis en A. Cette traverse porte quatre tiges qui s'emmanchent dans le bas avec une pièce portant au centre la tige du plongeur correspondant; elle porte, de plus, un bouton qui s'attelle à une bielle reliée à la manivelle de l'arbre du volant. Il y a deux arbres semblables ayant à chaque extrémité une manivelle et reposant sur des paliers faisant partie des bâtis en A. Les manivelles en regard des deux arbres sont reliées par un bouton qui rend le tout solidaire et auquel s'attache la bielle du cylindre intermédiaire. Chaque arbre porte au milieu un volant. Les trois manivelles sont calées à 120° les unes par rapport aux autres. Les arbres sont en acier forgé, ils ont 0,482 *m* de diamètre au corps et les portées ont 0,444 *m*, et leur coussinets 0,685 de longueur; ces derniers sont garnis en métal blanc. Les volants ont 5,80 *m* de diamètre et pèsent chacun 30 *t*.

Les pompes ont des clapets en caoutchouc dont la disposition ne présente rien de particulier, les conduites d'aspiration et de refoulement ont 1,22 *m* de diamètre. Les réservoirs d'air sont munis d'appareils automatiques pour l'alimentation d'air. La condensation se fait au moyen d'un condenseur à jet et d'une pompe à air indépendante.

On jugera de l'importance de cette installation mécanique par les chiffres suivants : le haut des cylindres à vapeur se trouve à 18,30 *m* au-dessus de la base des pompes (la hauteur moyenne au-dessus du sol

du balcon du cinquième étage d'une maison à Paris) ; la longueur est de 12,80 *m* dans le sens de l'arbre et la largeur de 6,10 *m*.

La pression de la vapeur à l'entrée de la machine est de 10 *kg* en nombre rond. La charge est de 44,20 *m* (145 pieds) d'eau.

A l'allure normale de vingt tours par minute, ce qui correspond à une vitesse de piston de 1,016 *m* par seconde, le débit théorique de chaque appareil serait de 4,17 m^3 par tour de volant, 5 000 par heure et 120 000 par vingt-quatre heures, ce qui correspond bien, en tenant compte du rendement en volume, aux 30 millions de gallons (113 550 m^3) dans ce laps de temps garantis par les constructeurs. Ceux-ci sont d'ailleurs préparés à fournir des appareils plus forts pouvant donner 50 millions de gallons, soit 190 000 m^3 par vingt-quatre heures.

Le travail théorique représenté par l'élévation de 113 550 m^3 par vingt-quatre heures sous la charge de 44,20 *m* indiquée ci-dessus est de 1 314 $kg \times 44{,}20 = 58\ 078$ *kgm* par seconde, soit 774 *ch* en eau montée théoriquement. Avec les frottements et pertes diverses, ces machines ne doivent pas développer beaucoup moins de 850 *ch*. Comme effet utile, les constructeurs ont garanti un *duty* de 125 millions de livres élevées à un pied par million d'unités de chaleur contenues dans la vapeur à son entrée aux cylindres. Ce chiffre correspond en mesures françaises à 68 620 *kgm* par 1 000 calories contenues dans la vapeur, soit, par exemple, avec de la vapeur à 10 *kg* de pression effective à 45 474 *kgm* par kilogramme de vapeur, ce qui représente une dépense de 5,90 *kg* de vapeur par cheval en eau montée. Cela paraît bien peu, mais on a, paraît-il, constaté déjà en Amérique des rendements aussi élevés. Ainsi, notre savant collègue, le professeur Thurston, cite les machines élévatoires de Milwaukee, d'un type à peu près semblable au précédent, construites par la Compagnie E. P. Allis, de Milwaukee, qui ne dépensent que 6,44 *kg* d'eau d'alimentation par cheval. Trois autres machines installées à Chicago par R. W. Hunt et C[ie] ont donné 45 432 000 *kgm* par 1 000 *kg* d'eau d'alimentation, soit 5,94 par cheval en eau montée. Dans des essais faits au Sibley Collège en avril 1893, on a trouvé une consommation encore plus faible, 5,81 *kg* d'eau d'alimentation par cheval en eau montée. A Milwaukee on a constaté que le travail de 520 *ch* en eau montée correspondait à 574 à l'indication sur les pistons, de sorte que les résistances de toute sorte de la machine à vapeur et des pompes n'absorbent que 9,22 0/0 du travail indiqué ; dans les mêmes conditions, les dépenses par cheval indiqué ne seraient pour les machines précitées que 5,40 *kg* et 5,35 *kg* par heure.

Pour terminer ce qui a trait aux machines de Philadelphie, qui font le sujet principal de cette note, nous dirons que le contrat pour la fourniture de ces machines a été signé le 30 juin 1893 et que les appareils ont été mis en marche le 30 septembre 1894.

Vitesse des navires. — Les journaux anglais ont donné récemment d'intéressants détails sur les vitesses réalisées par les navires. Sur 12 907 steamers figurant sur les registres du Lloyd, il n'y en a que 304 qui peuvent prétendre à une vitesse supérieure à 15 nœuds, 45 dépassant 19 nœuds et 18 seulement 20 nœuds. Sur ces derniers, il y a 4 paque-

bots belges à roues affectés au service d'Ostende à Douvres, la *Princesse-Henriette*, la *Princesse-Joséphine*, le *Léopold II* et la *Marie-Henriette*, 2 paquebots français à deux hélices, la *Seine* et la *Tamise*, faisant le passage entre Dieppe et New-Haven, 2 paquebots américains (construits en Angleterre), le *Paris* et le *New-York*, et 10 navires anglais de diverses catégories, à la tête desquels le *Lucania* et le *Campania* de la Compagnie Cunard.

Sur les 45 steamers réalisant une vitesse supérieure à 19 nœuds, 22 sont à roues, 16 à deux hélices et 7 à une seule hélice.

Edwin Clark. — L'Ingénieur anglais bien connu, Edwin Clark, est mort le 22 octobre dernier, à sa résidence de Marlow, à l'âge de quatre-vingts ans. Il nous parait d'autant plus convenable de consacrer quelques lignes à la mémoire de ce représentant distingué du génie civil, que son nom a été fréquemment prononcé dans nos séances et que ses travaux ont fait le sujet des premiers bulletins de notre Société. (Mémoires nos 1 et 2, 1848.)

Edwin Clark était né en 1814 à Marlow; après avoir fait ses études classiques il se livra d'abord à l'enseignement des mathématiques, puis, désireux de se consacrer au génie civil, il fit son apprentissage technique et travailla sous les ordres de différents Ingénieurs jusqu'au moment où le hasard le mit, en 1845, en rapport avec Robert Stephenson, qui s'occupait alors des études du chemin de fer de Chester à Holyhead. Stephenson, frappé des qualités qui distinguaient le jeune Ingénieur, le chargea des travaux préparatoires à l'établissement des ouvrages les plus importants de cette ligne, ouvrages qui devaient grandir la réputation de l'un et faire celle de l'autre, les célèbres ponts de Menai et de Conway.

Clark fut chargé des études, des expériences sur la résistance des modèles faites avec l'illustre Fairbairn et de l'exécution des travaux, comme Ingénieur résident.

Nous rappellerons brièvement que le pont de Menai ou pont *Britannia*, se compose de deux tubes rectangulaires de 461 *m* de longueur chacun, placés l'un à côté de l'autre; il entre dans leur composition 5 270 *t* de fers et tôles et 508 de fonte, plus 82 *t* pour la voie. Ces tubes se divisent en quatre travées dont deux de 140 *m* et deux de 70 *m*, le dessous est à 30,50 *m* au-dessus du niveau de la mer.

Les tubes ont été construits à terre, portés sur des chalands jusqu'au droit de leur emplacement définitif et élevés au moyen de presses hydrauliques. Les travaux préparatoires furent commencés en 1847 et terminés en 1850. Le pont de Conway, du même système de construction, n'a qu'une travée de 122 *m* de portée.

La description de ces travaux, extraordinaires pour l'époque, a été donnée dans un ouvrage publié par Clark et Stephenson, sous le titre : *Britannia and Conway Tubular Bridges*, et dont la plus grande partie a été traduite par notre collègue Yvert, en 1851, sous le titre : *Notice sur les ponts avec poutres tubulaires en tôle*, avec introduction par Eugène Flachat.

Après l'achèvement de ce travail qui lui valut une haute réputation, Clark fut nommé Ingénieur en chef de la *Electric Telegraph Co.;* il s'as-

simila rapidement les connaissances nécessaires en électricité et donna un grand développement au réseau de cette Compagnie, qui comptait déjà en 1852 7 500 *km* de lignes. Ce fut alors qu'il réalisa l'application de l'électricité aux signaux de chemins de fer en installant sur le *London and North Western*, en 1885, entre Londres et Rugby des appareils qui doivent être considérés comme le point de départ du Block system.

Il faut croire que le souvenir des services rendus pour le levage du pont de Menai par la presse hydraulique hantait toujours l'esprit de Clark, car en 1857 il proposa son emploi pour la mise à sec des navires et réalisa aux Victoria-Docks, à Londres, un appareil basé sur ce principe, et dont la réussite conduisit à l'établissement de plusieurs autres. S'inspirant toujours du même ordre d'idées, le célèbre Ingénieur construisit plus tard (1875), l'ascenseur d'Anderton destiné à faire franchir aux bateaux de canaux une chute de 15 *m*. Associé avec son frère, M. Latimer Clark et M. Stanfield, il s'occupa de la propagation de ce système d'ascenseurs qui fut appliqué, comme on sait, aux Fontinettes et à la Louvière. Notre Société a consacré plusieurs séances à l'étude de cette question. On peut citer encore parmi les grands travaux exécutés par Clark, la construction du port du Callao, au Pérou. Les dernières années de sa vie, retiré complètement des affaires, il consacrait ses loisirs à l'étude de l'astronomie et de la météorologie, sciences pour lesquelles il avait toujours manifesté un goût particulier.

Edwin Clark était depuis 1850 membre de l'*Institution of Civil Engineers;* il faisait partie d'une foule de Sociétés savantes et nous ne pouvons que regretter qu'il n'ait pas figuré comme membre honoraire sur les listes de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Locomotion par la vapeur sur les routes ordinaires. — Nous avons indiqué dans notre chronique de septembre dernier, page 438, que dès 1840, un mécanicien français, Dietz, avait fait circuler dans les rues de Paris une machine à vapeur remorquant d'autres véhicules. Il y avait là une erreur de date que nous croyons nécessaire de rectifier.

En effet, le 26 septembre 1834, le remorqueur construit par Ch. Dietz, constructeur de machines rue Marbœuf, à Paris, faisait devant une Commission un voyage de Paris à Saint-Germain et retour. Ce remorqueur, suspendu sur ressorts, pesait 10 *t*; il avait les jantes des roues motrices garnies de bois debout reposant sur un coussin de liège, une transmission à chaine à deux vitesses, une machine à cylindres oscillants et une chaudière tubulaire. La durée de chaque voyage fut d'environ 1 heure 30 minutes et la côte de Saint-Germain fut franchie en 13 1/2 minutes. La même machine fit, en 1839, un trajet de l'Observatoire à l'Arc de l'Étoile en présence d'une Commission de l'Institut, composée d'Arago, Poncelet, Savary, Gambey et Seguier, rapporteur. La Commission, dans un rapport lu à la séance de 21 octobre 1839 de l'Académie royale des Sciences, constata la facilité de conduite de la machine, la souplesse et la sécurité de sa marche dans les rues de Paris.

Dans un rapport à la Société d'Encouragement, en décembre 1840, Th. Olivier émet des appréciations très élogieuses sur cette machine et

déclare qu'il considère le problème abordé par son constructeur comme résolu au point de vue mécanique.

Dans une brochure qui se trouve à la bibliothèque de notre Société et d'où nous avons extrait une partie de ce qui précède, sont exposées les bases de l'organisation d'un service de voyageurs et marchandises sur une route de 100 lieues et sa comparaison avec la traction par chevaux. Les promoteurs présentaient cette organisation comme « un véritable *médium* entre les diligences et les chemins de fer, pouvant relier ceux-ci entre eux lorsqu'ils se trouvent à une certaine distance les uns des autres ou que leurs lignes se trouveraient interrompues en un point quelconque par des obstacles de terrains, ou par suite d'une trop forte dépense ».

Cette idée des messageries à vapeur a été reprise bien des fois depuis. Une tentative assez sérieuse a été faite notamment, il y a environ trente-cinq ans, par une Société qui portait précisément le nom que nous venons d'écrire et qui avait pour directeur Servel, membre de notre Société et ancien Ingénieur du matériel au chemin de fer d'Orléans. Récemment encore il existait, croyons-nous, du côté de Lyon, et il existe peut-être encore des services plus ou moins réguliers de transport sur routes par la vapeur.

On peut enfin signaler, au moins à titre de curiosité, qu'à la fin de 1855, il y a donc quarante ans, Julienne fit fonctionner sur la route de la Révolte, une voiture à air comprimé portant trois personnes. Cette voiture, du poids de 1 100 *kg* chargée, contenait 740 *l* d'air à la pression de 25 *atm*.

En somme nous avons pensé qu'il était juste de rappeler les tentatives honorables faites déjà, il y a une soixantaine d'années, tant en France qu'en Angleterre, pour le transport sur routes par la vapeur et de montrer qu'il n'est pas tout à fait exact de dire « qu'après un siècle d'oubli auquel la locomotion sur rails l'a condamnée, la locomotion mécanique sur routes a reparu chez nous dans ces dernières années ».

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

JUILLET 1894

Note sur les **corrosions par pustules des chaudières à vapeur,** par M. Olry, Ingénieur en chef des mines.

Cette note a déjà paru dans les *Annales des Mines*, sixième livraison de 1894 et nous en avons rendu compte dans le Bulletin d'août, page 354.

Note sur la **construction de vannages d'usines** sur la Touques, à Lisieux, par M. Barbé, Ingénieur des ponts et chaussées.

Les crues de la Touques étant torrentielles, l'insuffisance du débouché dans la traversée de Lisieux occasionnait fréquemment l'inondation des bas quartiers de la ville. On a donc dû reconstruire les ouvrages de décharge de cinq retenues d'usine. Ces ouvrages ont été refaits avec des modifications importantes. Les vannes sont divisées en deux parties en hauteur. Le panneau inférieur se lève d'abord et arrivé à fin de course, soulève le panneau supérieur. Ces panneaux ont leur poids mort équilibré. La manœuvre s'opère par une crémaillère actionnée par un pignon sur lequel la manivelle agit par l'intermédiaire d'une vis sans fin. Le poids de la partie métallique est de 1 000 *kg* et le prix de 520 *f* par mètre carré de débouché superficiel.

Note sur **une passerelle de halage à bascule** se manœuvrant automatiquement, sur le canal de l'Est, par M. Roussel, Sous-Ingénieur des ponts et chaussées.

Cette passerelle se compose d'un tablier formé par deux poutres en fer qui basculent autour d'un axe placé un peu au-dessus du centre de gravité, pour que la position horizontale se reprenne toujours. La volée qui se trouve au-dessus de l'écluse est balancée par une culasse ou contrepoids en fonte placée à l'extrémité de la poutre.

L'équilibre est obtenu à l'aide d'un cylindre creux en tôle. La petite branche du tablier descend dans une chambre en maçonnerie fermée et qu'on peut remplir d'eau en le mettant par un tuyau en communication avec le sas de l'écluse. Par cette combinaison, le tablier se ferme lorsque le sas se remplit et inversement. La manœuvre du pont est donc automatique; elle peut en outre se faire à la main. Ce pont est d'ailleurs à peu près uniquement destiné au passage des chevaux de halage qui changent de rive à l'écluse. La dépense d'établissement a été de 2 673 *f*.

Note sur la **dispersion de l'épave du steamer « Lizzie »**, dans la rade de Saint-Nazaire, par M. de Joly, Ingénieur des ponts et chaussées.

Le 1er janvier 1892 le vapeur anglais *Lizzie* chargé de 1 700 *tx* de charbon s'échoua à l'entrée de Saint-Nazaire.

Les intéressés firent l'abandon de l'épave que le service des ponts et chaussées se mit en devoir d'enlever. Il accepta l'offre de MM. Salmson et Breville de renflouer le navire moyennant certaines conditions. Ces messieurs commencèrent à opérer l'épuisement à l'aide d'un matériel puissant dès le 24 février et auraient probablement réussi à renflouer le navire sans une tempête désastreuse survenue le 15 mars et dont les conséquences furent telles qu'on dut abandonner les opérations. L'échec étant dû à une cause de force majeure, il fut alloué aux entrepreneurs une indemnité de 17 000 *f*.

Une maison anglaise fit une proposition pour la dispersion de l'épave moyennant une somme à forfait de 150 000 *f*. Ce prix ayant paru exagéré, l'administration résolut d'opérer en régie. On commença par sectionner le navire en deux parties avec un faisceau de pétards de dynamite; le poids total d'explosifs était de 200 *kg* environ. On opéra le 18 juin; l'avant du navire s'écroula et les sondages indiquèrent que rien de cette partie ne restait au-dessus de la cote déterminée. On travailla à retirer l'arrière en étanchant les voies d'eau avec de la maçonnerie de briques et ciment et en épuisant; mais les 12 et 13 juillet un coup de vent terrible disloqua l'épave et rendit impossible toute tentative de sauvetage.

Il fallut donc se résoudre à détruire le reste du navire, ce qui fut fait avec des cordons explosifs convenablement disposés. La première opération a coûté 22 000 *f*, la seconde 17 000 *f*, total 39 000 *f* en nombre rond, somme peu élevée relativement à celle de 150 000 *f* qui avait été demandée. Si l'on n'avait pas fait la tentative de renflouement partiel dont nous avons parlé, la dépense totale n'aurait pas excédé 22 000 *f*.

Note sur **la détermination a priori de la section des arcs paraboliques** à grande flèche, par M. J. A. Belliard, Ingénieur, ancien élève de l'École des Ponts et Chaussées.

On sait que, dans les calculs relatifs à la résistance d'un arc, quel qu'il soit, entre une indéterminée, la section de l'arc. Cette section étant presque toujours trop forte ou trop faible relativement à la résistance-limite que l'on s'est imposée, il faut refaire les calculs jusqu'à ce qu'on arrive au résultat cherché. Pour éviter cet inconvénient, l'auteur a cherché à établir des formules permettant de calculer *a priori* la section en fonction de l'effort-limite choisi et des charges permanentes et mobiles auxquelles l'arc doit résister. On peut faire remarquer à ce sujet que la recherche *a priori* de la section de l'arc conduit au calcul même de la résistance de cet arc. En effet, la section de celui-ci étant déterminée en un point quelconque, il suffit de porter cette valeur dans les fonctions relatives à cette résistance pour obtenir immédiatement le moment

de flexion et l'effort de compression dans cette section. Les formules indiquées dans la note renferment donc tous les calculs relatifs à la résistance de l'arc que l'on étudie.

AOUT 1894

Recherches sur le calcul de **la résistance des tabliers des ponts suspendus**, par M. T. GODARD, Ingénieur des ponts et chaussées.

M. Maurice Lévy a le premier donné (voir les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1886, 2[e] semestre) une méthode pour le calcul des ponts suspendus à tablier rigide. Plus récemment M. de Boulongne a cherché à aborder le calcul des ponts suspendus à tablier articulé en son milieu, mais les méthodes indiquées par ces Ingénieurs supposent toujours l'égalité d'action de toutes les tiges de suspension et une rigidité très grande du tablier.

L'auteur a cherché à résoudre le problème d'une manière plus générale sans faire d'hypothèses particulières sur la rigidité du tablier et sur la forme de la fonction inconnue qui représente l'effort supplémentaire qui prend naissance dans les diverses tiges de suspension sous l'influence d'un poids qui se déplace.

En partant, il est vrai, aussi de certaines hypothèses, mais qui n'ont rien de trop restrictif, la note établit les formules générales qui donnent les déformations d'une poutre liée à un câble parabolique sous l'influence des charges qui la parcourent. On peut tirer de l'examen de ces formules certains résultats généraux intéressants.

1° La raideur plus ou moins grande d'un tablier de pont suspendu n'a qu'une action presque insensible sur la tension des câbles.

2° L'encastrement du tablier sur les appuis ne soulage pas le câble qui est soumis, lorsque le poids mobile est vers le milieu de la travée, à des efforts plus considérables que dans le cas du tablier simplement attaché aux extrémités.

L'encastrement diminue les efforts statiques maxima exercés sur le tablier et le moment fléchissant maximum est moindre que dans le cas du tablier libre. Mais, par contre, l'encastrement augmente sensiblement l'action des dilatations. D'autre part, la tension des tiges de suspension directe ou indirecte n'est pas diminuée par l'encastrement, au contraire. Le véritable avantage de l'encastrement consiste à diminuer l'amplitude des vibrations et à les éteindre plus rapidement.

Propriétés optiques des appareils de phares par M. RIBIÈRE, faisant fonction d'Ingénieur en chef du service central des phares et balises.

Les formules données par Fresnel, puis par M. Allard pour calculer les divers éléments des appareils optiques des phares, lentilles plan-convexes à échelons ou anneaux catadioptriques, établies spécialement en vue de la construction de ces appareils, en définissent les formes géométriques, mais elles ne se prêtent pas à l'étude de leurs diverses propriétés optiques et par suite elles ne peuvent servir à comparer les profils usuels

des lentilles avec les profils différents qui sont proposés de temps en temps. L'objet de la note est de compléter les travaux antérieurs sur le sujet des lois physiques d'où découlent les propriétés optiques des appareils.

Les conclusions de ce travail sont qu'il n'y a pas lieu de chercher une amélioration au point de vue de la divergence optique, par l'emploi d'autres types de lentilles qui ne présenteraient, par rapport à la lentille plan-convexe ou de Fresnel, ni les mêmes facilités de construction ni le même degré de précision dans l'exécution et qu'il n'y a aucun motif de renoncer à ce type. La note se termine par des tableaux servant au calcul des lentilles plan-convexes.

ANNALES DES MINES

Huitième livraison de 1894.

Étude expérimentale de la **vaporisation dans les chaudières de locomotives** faite dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, sous la direction de M. A. Henry, Ingénieur en chef des Mines, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie P.-L.-M.

Cette étude a été faite de 1885 à 1890, et une partie des résultats avait été communiquée par M. Henry au Congrès international des chemins de fer, en 1889. Toutefois, le travail que publient les Annales des Mines est beaucoup plus complet et contient, en outre, les résultats d'expériences plus récentes faites sur les tubes à ailettes. Ce travail a été mis sous la forme actuelle par notre collègue, M. Georges Marié.

Le but de ces recherches est tout d'abord de se rendre compte de l'influence exacte de la longueur des tubes, tant sur la production de vapeur que sur le rendement économique du générateur, de manière à pouvoir apprécier si la quantité supplémentaire de vapeur donnée par l'allongement des tubes au delà d'une certaine longueur, motive l'augmentation de poids et la diminution de la puissance maxima.

Les expériences relatives à cette question ont été répétées avec différents tirages et diverses formes de foyers (foyers ordinaires, foyers avec voûtes en briques et foyers avec bouilleur Tenbrinck). On a étudié également l'influence de la surface de grille et du nombre et du diamètre des tubes.

On a opéré sur une chaudière de locomotive express placée dans un bâtiment clos; cette chaudière avait son corps cylindrique formé de viroles à collerettes boulonnées de telle façon qu'on pouvait donner aux tubes des longueurs variant par 0,50 *m* de 7 *m* à 2 *m*. Le foyer était disposé de manière à pouvoir recevoir les divers appareils dont il a été question plus haut. La vapeur sortait par un tube muni d'une valve d'étranglement qu'on réglait de façon à maintenir la pression à 10 *kg*.

L'alimentation était faite avec un injecteur du modèle habituel de P.-L.-M. prenant de l'eau dans des caisses de 1 000 *l* munies de tubes

de niveau pour permettre d'apprécier les consommations. On pesait le combustible, on mesurait le tirage dans le cendrier et dans la boite à fumée avec un manomètre à air libre. On appréciait la température des gaz de la boite à fumée par des thermomètres ou pyromètres, selon la longueur des tubes et leur composition par l'eudiomètre de Regnault et l'appareil Orsat. On déterminait la proportion d'eau entraînée par la vapeur par la méthode calorimétrique au moyen d'un appareil à fonctionnement continu, et on se rendait compte de la composition et du pouvoir calorique du combustible par la méthode de la combustion d'un échantillon dans l'oxygène.

Nous ne pouvons entrer dans le détail des résultats obtenus dans ces expériences magistrales qui jettent une vive lumière sur la question de la vaporisation dans les chaudières de locomotives. Nous indiquerons simplement que de nombreux tableaux reproduisent des courbes donnant les quantités de combustible brûlé, les poids d'eau vaporisée, le rendement économique, etc., pour les diverses longueurs de tubes, les diverses formes de foyers et les diverses valeurs du tirage.

Les conclusions les plus importantes sont que la voûte ou le Tenbrinck réduit plus ou moins l'activité de la combustion et la production de vapeur, mais qu'elle accroît le rendement économique. L'activité de la combustion croît avec la réduction de longueur des tubes, mais d'autant moins vite que le tirage est plus énergique.

La production augmente avec cette réduction, mais jusqu'à 4 *m* environ et décroît au-dessous de cette longueur. Le rendement est d'autant plus faible que les tubes sont plus courts, cette perte s'accelère beaucoup au-dessous de 4 *m*.

La combustion s'active avec le tirage, mais de moins en moins, de même pour la production, mais le rendement diminue avec l'accroissement du tirage. La réduction de la grille fait diminuer la combustion et la production. Enfin, la réduction du nombre des tubes réduit les deux, mais est sans influence sur le rendement. Nous pouvons ajouter que dans ces expériences la proportion d'eau entrainée avec la vapeur a été trouvée pratiquement nulle.

La conséquence de ces constatations sur la construction des chaudières peut se formuler comme suit : avoir de grandes surfaces de grilles, employer des voûtes en briques ou le Tenbrinck; ce dernier est un peu plus avantageux, mais donne lieu à plus d'entretien, ce qui fait compensation. Préférer les longueurs de tubes voisines de 4 *m* à 4,50 *m*, suivant qu'on a besoin de plus ou moins de poids, prendre toutes les dispositions pour augmenter le tirage et le faire varier suivant les circonstances; enfin, augmenter le plus possible le nombre des tubes eu égard à la surface de la plaque tubulaire.

Une seconde partie du mémoire relate des expériences faites sur des chaudières à tubes lisses de locomotives construites en 1889 à la suite des expériences relatées dans la première partie. Ces expériences ont fait voir que :

1° Les expériences de la première partie doivent être considérées comme donnant des résultats qu'il est impossible d'atteindre tout à fait en pratique;

2° Quand on passe de la chaudière d'expériences à des chaudières timbrées à 15 *kg* au lieu de 10 et munies de tubes en fer légèrement entartrés au lieu de tubes en cuivre propres, il faut s'attendre aux pertes suivantes :

Une perte de 1 à 4 0/0 sur la consommation de combustible à l'heure;

Une perte de 4 à 6 0/0 sur la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible;

Enfin, une perte de 8 0/0 sur la quantité d'eau vaporisée par heure, tenant à la réunion des deux pertes précédentes.

Une troisième partie rapporte les expériences sur des chaudières munies de tubes à ailettes. Ces expériences ont démontré que l'emploi des tubes à ailettes permet de raccourcir considérablement les chaudières de locomotives, tout en conservant le même rendement et la même puissance. Il permet une réduction de poids de la chaudière et une diminution de volume d'eau, diminution qu'il est toutefois prudent de ne pas porter trop loin.

A la suite de ces expériences la Compagnie P.-L.-M. a adopté, pour toutes les constructions ou transformations de locomotives qu'elle a entreprises depuis trois ans, les tubes en fer à ailettes, avec voûte en briques dans le foyer. Pour les machines transformées, dans le but de conserver les plaques tubulaires, on a employé les tubes de 50 *mm*, mais, pour les machines neuves, on s'est généralement arrêté au diamètre de 65 *mm* et à la longueur de 3 *m*.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Congrès de Lyon

du 2 au 5 juillet 1894.

Nous nous bornerons à mentionner les principales questions traitées à ce Congrès, ou les principaux objets visités.

Pour la première journée, le cinémomètre de MM. de la Roulle et Dumas, dont il a déjà été question plusieurs fois dans ces comptes rendus et dont une amélioration récente consiste dans l'addition d'une aiguille qui indique d'une manière permanente la vitesse.

Pour la deuxième journée, l'exposition collective des Houillères de la Loire, la multiplication du débit des ventilateurs par l'entraînement, une nouvelle lampe de sûreté, les barrières à enclenchement et fermeture automatique de la Société des Houillères de Montrambert et de la Béraudière, l'exposition des Mines de Blanzy et celle des Ateliers Galland, la turbine à vapeur de Laval, le purgeur automatique Duvergier, le moteur à pétrole Grob, l'exposition de la Compagnie de Fives-Lille, celle des Ateliers d'Œrlikon, le gazogène pour moteur au gaz pauvre, les accumulateurs Tudor, l'appareil Trumpy pour le réglage du débit des accumulateurs, une visite au poste central télégraphique de Lyon et une à la station centrale du tramway électrique de Lyon à Oullins.

La troisième journée a été consacrée d'abord à une conférence de M. Laur sur la catastrophe de Karwin, en Silésie, consistant en une explosion de grisou qui comptera parmi les plus meurtrières de l'époque ; elle a fait plus de 200 victimes et la mine a dû être bouchée et abandonnée pour le moment. Ensuite est venue une conférence de M. Bonnel sur les applications du verre à l'hygiène et à l'électricité, donnant la description des verres imprimés et des verres treillagés de la Compagnie de Saint-Gobain et l'application des verres de toitures à l'industrie des forceries très développée dans le nord de la France et en Belgique; ce sont des serres-ateliers, véritables usines à fruits et à légumes, surtout à raisins. L'auteur traite également des procédés de moulage du verre de notre collègue, M. Appert, présentés par lui, comme on se rappelle, à notre Société il y a quelques mois.

Nous citerons encore une communication de M. Prat sur le ventilateur Geneste et Herscher, une visite à la station centrale de lumière électrique de la Compagnie du Gaz de Lyon et la réception à l'Hôtel de Ville par le maire et le conseil municipal.

Le programme de la quatrième journée comprend la visite à Sain-Bel, aux mines de la Compagnie de Saint-Gobain, où ont été examinés successivement les installations extérieures et les travaux de fonds, machines d'extraction, atelier de broyage, trainage par chaine flottante extérieure, traînage intérieur. L'exploitation a pour objet l'extraction des pyrites de fer et de cuivre.

Réunion de Saint-Étienne

Séance du 4 août 1894.

Communication de M. Petit sur le **fonçage par congélation du siège de Vicq**.

Pour traverser des sables boulants et des craies très aquifères d'une hauteur de près de 100 *m* avec deux puits de 5 et 3,65 *m* de diamètre, la Compagnie des mines d'Anzin a dû avoir recours au procédé Pœtsch. A cet effet, on a, sur une circonférence de 6,50 *m* de diamètre pour l'un des puits et de 5,10 *m* pour l'autre, réparti 36 sondages à 1 *m* les uns des autres. Dans ces trous on a descendu des colonnes doubles composées d'un tube de 116 *mm* fermé au fond et d'un tube intérieur de 30 ouvert à sa base ; c'est dans cette canalisation que circule le liquide froid formé d'une dissolution de chlorure de calcium. Une machine Linde à 4 cylindres de 0,360 de diamètre et 0,540 de course actionnée par deux cylindres à vapeur opère le refroidissement du liquide. La masse en circulation de celui-ci est de 70 m^3. Actuellement la congélation est obtenue et le fonçage s'opère à raison de 4 *m* d'avancement journalier.

Communication de M. Pillez sur le **développement des industries métallurgiques et houillères dans la Russie méridionale.**

Production de l'or et de l'argent dans le monde. (Extrait de l'*Engineering and Mining Journal.*)

Détermination du phosphore dans le charbon et dans le coke. (Extrait des *Transactions of the American Institute of Mining Engineers.*)

La Commission anglaise des explosions de poussières dans les mines de houille.

Cette commission, nommée en 1891 pour faire une enquête sur le rôle des poussières de charbon dans les explosions de mines, vient de présenter son rapport, qu'elle a appuyé sur de nombreux essais. Ses conclusions sont que le danger d'explosion est considérablement accru, dans une mine, par la présence des poussières, que les poussières peuvent propager indéfiniment une explosion de grisou, que les poussières seules, en l'absence de toute trace de gaz, peuvent produire des explosions, toutefois ce cas est rare et subordonné à des circonstances exceptionnelles ; enfin, la commission ne considère pas comme possible l'inflammation, en l'absence du grisou, des poussières par une lampe de sûreté ou une lampe à feu nu ; il faut le débourrage d'un coup de mine ou une autre cause violente d'inflammation. Elle conseille l'arrosage des parois des galeries sur un espace d'au moins 30 yards des coups de mine et l'enlèvement des accumulations trop importantes de poussières, soit au toit, soit à la sole des galeries.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 37. — *15 septembre 1894.*

Influence du montage des machines sur l'intensité des vibrations des navires à vapeur, par O. Schlick.

Locomotives compound en Amérique, par E. Brückmann *(suite).*

Calcul des dimensions des constructions métalliques, par H. Gerber *(fin).*

Groupe de Bochum. — Combustion spontanée de la houille. — Théorie des ventilateurs de mines. — Installation municipale de bains à Bochum.

Groupe de la Ruhr. — Expériences sur les chaudières à vapeur à l'Exposition d'électricité de Francfort-sur-le-Mein en 1891.

Bibliographie. — Manuel de la métallurgie du fer, par A. Ledebur.

N° 38. — *22 septembre 1894.*

Concours pour la construction d'un pont sur le Danube, à Budapest, par A. Zschetzsche *(suite).*

Le canal interocéanique de Nicaragua en comparaison avec celui de Panama, par Intze.

Locomotives compound en Amérique, par E. Brückmann *(suite).*

Groupe de Chemnitz. — L'industrie du tissage dans le cercle de Chemnitz.

Bibliographie. — Publication faite à l'occasion de la 35e réunion générale de l'Association des Ingénieurs allemands à Berlin en 1894.

Variétés. — Importation et exportation de machines et matériel de chemin de fer dans l'union douanière allemande en 1893.

N° 39. — *29 septembre 1894.*

Notes d'un voyage d'études en Amérique. — Ponts mobiles, par G. Barkhausen.

Le canal interocéanique de Nicaragua en comparaison avec celui de Panama, par Intze *(suite).*

Machines-outils à l'Exposition universelle de Chicago, en 1893, par W. Hartmann *(suite).*

Compteurs d'eau à rotation, système Siemens-Oesten, par G. Oesten.

Machines à vapeur à grande vitesse des ateliers de construction mécanique ci-devant Ducommun, à Mulhouse.

Notice nécrologique sur Hermann de Helmholtz.

Groupe de Franconie et du Palatinat supérieur. — Emploi de la tôle pour les constructions métalliques de grande hauteur.

Variétés. — Explosion de poussières dans la fabrication des agglomérés de lignite.

Correspondance. — Projets de nouvelles installations maritimes au port de Stettin.

N° 40. — *6 octobre 1894.*

Installation de scieries de C. A. Smith et Cie à Minneapolis, par H. Fischer.

Locomotives compound en Amérique, par E. Brückmann *(suite).*

Calcul des roues d'engrenages, par R. Stribeck.

Le canal interocéanique de Nicaragua en comparaison avec celui de Panama, par Intze *(fin).*

Appareils de changement de voie et signaux à l'Exposition universelle de Chicago, en 1893, par H. Heimann *(suite).*

Répartition de la charge sur les essieux dans les locomotives à plus de deux essieux, par A. Cramer.

Bibliographie. — Manuel de métallurgie, par C. Schwebel.

N° 41. — *13 octobre 1894.*

Installation et fonctionnement des stations centrales hydrauliques desservant des appareils de levage, par P. Eilert.

Locomotives compound en Amérique, par E. Brückmann *(suite).*

Machines-outils à l'Exposition universelle de Chicago, en 1893, par W. Hartmann *(fin).*

Le canal de la mer du Nord à la Baltique, par Kuntze.

Calcul graphique de l'accélération d'un piston suivant les positions de la manivelle, par R. Krause.

Groupe de Franconie et du Palatinat supérieur. — Chauffage au gaz avec les nouveaux fours Siemens et Pietzka.

Correspondance. — Guidage et régularisation de la course pour les appareils de mise à sec des navires avec flotteurs.

N° 42. — *20 octobre 1894.*

Résistance au glissement avec le rivetage à la main et à la machine, par C. Bach.

Emploi des courbes d'intégration dans les constructions navales, par G. Dietze.

Concours pour la construction d'un pont sur le Danube, à Budapest, par A. Zschetzche *(fin).*

Machines américaines pour l'industrie textile à l'Exposition universelle de Chicago, en 1893, par G. Rohn *(suite).*

Bibliographie. — L'éclairage à Paris, par H. Maréchal.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 22020-10-94. — (Encre Lorilleux)

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

NOVEMBRE 1894

N° 11

Sommaire des séances du mois de novembre 1894 :

10° *Siphon de Clichy* (Cartes d'invitation pour visiter les travaux du), données par M. Berlier. (Séance du 2 novembre), page 587;

11° *Monument Flachat* (Souscription de 5 000 *f* de la Société au). (Séance du 2 novembre), page 587;

12° *Lettre de la Société de Géographie de l'Est*, pour l'examen du projet de carte de la terre au 1/1 000 000. (Séance du 16 novembre), page 594;

13° *Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences* (Compte rendu du), par M. P. Jannettaz. (Séance du 2 novembre), page 588;

14° *Séismes et Volcans* (Les), par L. de Longraire. (Séance du 2 novembre), page 592;

15° *Fonte* (La fabrication de la), compte rendu d'un ouvrage de M. de Billy, Ingénieur des Mines, par M. Rémaury. (Séance du 16 novembre), page 594;

16° *Energie à grande distance par l'électricité et sur les transmissions électriques par courant continu* (Étude sur le transport de l'), par MM. G. Dumont, G. Baignères et A. Lencauchez. (Séance du 16 novembre), page 598;

Mémoires contenus dans le Bulletin de novembre 1894 :

17° *Note sur l'application de l'aluminium aux constructions navales*, par M. G.-J. Hart, page 601;

18° *Chemins de fer à voie étroite du canton de Genève*, par M. A. Mallet, page 615;

19° *Séismes et Volcans*, par L. de Longraire, page 629;

20° *Notice nécrologique sur M. Ch.-V. Taconnet*, par M. H. Bobin, page 718;

21° *Chronique* n° 179, par M. A. Mallet, page 720;

22° *Comptes rendus* — page 730;

23° *Planches* n°s 123 et 124.

Pendant le mois de novembre 1894, la Société a reçu :

35000 — De l'Office du Travail. *Statistique des grèves et des recours à la conciliation et à l'arbitrage survenus pendant l'année 1893* (in-8° de 425 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1894.

35001 — De M. H. Bechhold. *Die Maschinellen Hilfsmittel der Chemischen Technik*, von A. Parnicke (grand in-8° de 320 p. avec 337 fig.). Frankfurt, 1894.

35002 — De MM. C.-A. Faure et D.-A. Casalonga (M. de la S.). *Électro-Métropolitain-Parisien pour le transport en commun, agréable, facile, économique, des voyageurs parisiens dans Paris. Avant-projet d'exécution et d'exploitation* (in-8° de 31 p.). Paris, Bureaux de la Chronique industrielle, 1894.

35003 — Du Ministère des Travaux publics. *Album de statistique graphique de 1893*. Paris, Imprimerie nationale, 1894.

35004 — De la Société de Vezin-Aulnoye. *Société de Vezin-Aulnoye à l'Exposition universelle d'Anvers en 1894*. Notice (in-12 de 22 p.), 1894.

35005 — De M. J.-V. Barbier. *Le Projet de la carte de la terre à l'échelle du 1/1 000 000, devant la Commission technique de la Société de géographie de l'Est* (in-8° de 48 p.). Nancy, Berger-Levrault, 1894.

35006 — Du même : *L'Unification internationale de l'heure et la Division décimale du temps*, par Floquet (in-8° de 13 p.). Nancy, Berger-Levrault, 1894.

35007 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Les Chronomètres de marine*, par E. Caspari (petit in-8° de 203 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

35008 — D. M. J. Garçon (M. de la S.). *La Pratique du teinturier. Tome II. Le Matériel de teinture* (in-8° de 391 p. avec 245 figures dans le texte). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

35009 — De M. O. Chauute. *Progress in Flying Machines* (in-8° de 308 p. avec 85 fig.). New-York, 1894.

35010 — De M. E.-P. Allis. *Duty Tests of Pumping Engines and Reynolds Corliss Engines* (grand in-8° de 433 p.). Milwaukee, 1894.

35011 — De M. Ch. Janet (M. de la S.). *Études sur les fourmis* (7 brochures in-8°). Paris et Beauvais, 1893 et 1894.

35012 — De la Chambre syndicale de chaudronnerie et de ferblanterie pour le bâtiment. Paris. *Série de prix. Année 1893* (in-4° de 26 p.). Paris, Ed. Rousset, 1893.

35013 — De MM. E. Bernard et Cie. *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, par A. Witz. Tome I (grand in-8° de 435 p. avec 150 fig. dans le texte). Paris, E. Bernard et Cie, 1892, 3e édition.

35014 — Des mêmes. *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole*, par A. Witz. Tome II (grand in-8° de 424 p. avec 141 fig. dans le texte et 4 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1895.

35015 — Du Navy Department. *Annual Report of the Chief of the Bureau of Steam Engineering, 1894.* Washington, 1894.

35016 — De M. H. Paur (M. de la S.). *Festschrift zur Feier des 25 jährigen Bestehens der Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidgenössischen polytechnischen Schule in Zürich, 1869-1894* (in-8° de 174 p. avec 37 pl.). Zürich, 1894.

35017 — De M. H. Gurlt. *Explosionen der Dampfleitungen auf Schiffen und die Mittel, um ihren verheerenden Wirkungen zu begegnen* (in-8° de 47 p. avec 1 pl.). Berlin, F.-C. Glaser, 1894.

35018 — De l'Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland. *Transactions*. Volume XXXVII. Thirty-Seventh Session. 1893-1894.

35019 — De la Société technique de l'industrie du gaz en France. *Compte rendu du vingt et unième Congrès tenu les 16 et 17 mai 1894, à Nîmes*. Paris, P. Mouillot, 1894.

35020 — De M. A. Mallet (M. de la S.). *Effet utile des machines d'alimentation d'eau des gares de chemins de fer*, par M. A. de Borodine. Traduit par M. A. Mallet (in-8° de 17 p.). Paris, Hôtel de la Société, 1894.

35021 et 35022 — *Architecture hydraulique, ou l'Art de conduire, d'élever, et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie*, par Belidor. 1re Partie. Tomes I et II. Paris, Jombert, 1737-1739.

35023 et 35024 — *Architecture hydraulique*. Seconde Partie, qui comprend : *l'Art de diriger les eaux de la mer et des rivières à l'avantage de la défense des places, du commerce, et de l'agriculture*, par Belidor. Tomes I et II. Paris, Jombert, 1750-1753.

35025 — De M. G. Bouscaren (M. de la S.). *Report of Board of Engineers upon New York and New Jersey Bridge* (in-8° de 55 p. avec 8 pl.). Washington, 1894.

35026 — De M. P. Ferrand (M. de la S.). *L'or à Minas-Geraes (Brésil)* Volume I (in-8° de 164 p. avec 24 fig.). Ouro-Preto, 1894.

35027 — De M. W. Jackson. *Engineering Department, Twenty-Seventh Annual Report of the City Engineer, Boston, for the year 1893.* Boston, 1894.

35028 — De M. G. Richard (M. de la S.). *La mécanique générale américaine à l'Exposition de Chicago. Les machines à vapeur* (in-4° de 97 p.). Paris, Société d'Encouragement, 1894.

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de novembre 1894, sont :

Comme Membres sociétaires, MM. :

C. Brault,	présenté par MM.	Bourdon, Jeantaud, Vigreux.
L.-P. Delphieu,	—	Lecocq, Liébaut, Quenay.
A. Gérard,	—	Carimantrand, Lévi, Mallet.
J.-E.-C. Giraud,	—	Carimantrand, Lévi, Mallet.
A. Julien,	—	Bullot, L. Durand, Mesureur.
A.-J. Pagnard,	—	H. Hersent, J.-B. Hersent, J. Marié.
R. de Rautlin de la Roy,	—	du Bousquet, Forest, Aug. Moreau.
J.-A.-M. Sarcia,	—	du Bousquet, Kéromnès, Sartiaux.
E.-F. Simon,	—	Chabardès, Grébus, Suss.
R. L. Yvon,	—	Courtois, Lanier, A. Lavezzari.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 2 NOVEMBRE 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

et de M. L. Appert, Vice-Président

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président dit qu'en présence du malheur qui vient de frapper la Russie, il a cru devancer les désirs des Membres de la Société, en envoyant le télégramme suivant à notre Collègue et Correspondant à Saint-Pétersbourg, M. le Professeur Belelubsky :

« La Société des Ingénieurs Civils de France, douloureusement frappée par la perte cruelle que vient de faire la Russie, vous prie de vouloir bien être auprès de Leurs Majestés Impériales l'interprète de ses respectueux sentiments de douloureuse sympathie.

Signé : du Bousquet, *Président*. »

(Approbations unanimes.)

M. le Président regrette qu'on ait reçu, trop tard pour y faire représenter la Société, une invitation à l'inauguration du monument élevé à Rome à la mémoire du Commandeur A. Brisse qui, comme l'a dit M. P. Buquet dans la séance où il annonçait son décès (novembre 1892), « porta brillamment, à l'étranger, le drapeau du Génie Civil français ».

M. le Président a le regret de faire part du décès de quatre de nos Collègues :

M. L. Brunck, membre de la Société depuis 1885, a été chef de bureau des études de la maison Ravasse, puis Ingénieur de la Société alsacienne de constructions mécaniques.

M. A.-A. Fraix, membre de la Société depuis 1879, a été Ingénieur à la Compagnie du chemin de fer des Charentes, puis dessinateur principal du bureau des études de M. Brereton, et Ingénieur représentant de la Compagnie de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

M. J. Rogerson, membre de la Société depuis 1885, a été Ingénieur Constructeur.

M. Ch. Taconnet, membre de la Société depuis 1888, a été chef du bureau du matériel à la Compagnie du chemin de fer du Sud de la France et directeur des ateliers de la maison Mathelin et Garnier.

M. le Président rappelle qu'il a eu dans la dernière séance le regret d'annoncer le décès de M. H. Guary, Directeur Général de la Compagnie des Mines d'Anzin.

M. Guary après de brillantes études était entré à l'École Centrale d'où il sortait en 1854. Dès sa sortie de l'École il devenait Ingénieur aux mines de Vicoigne, puis successivement à celles d'Auchy et de Saint-Martin, où il se fit remarquer immédiatement.

Le 12 janvier 1878 il entrait au service de la Compagnie d'Anzin comme Secrétaire Général; deux ans plus tard le Comité l'appelait aux importantes fonctions de Directeur Général, fonctions qu'il a remplies pendant quatorze ans.

Ingénieur des plus distingués, il était en même temps administrateur habile et directeur paternel pour les ouvriers. La Banque de France l'avait nommé Censeur de sa Succursale de Valenciennes et il était aussi Président d'honneur de la Société de Bienfaisance de Charleroi et du groupe des anciens élèves de l'École Centrale, résidant dans la région de Valenciennes.

Depuis 1880 il était membre de notre Société et en toutes circonstances nos Collègues étaient assurés de trouver auprès de lui le plus cordial accueil. Sa perte sera vivement ressentie par la Société des Ingénieurs Civils de France, qui s'associe au deuil cruel qui vient de frapper sa famille.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que :

M. L. Appert a été nommé officier de l'Ordre de Léopold de Belgique;

M. H. Béliard a été nommé chevalier de l'Ordre de Léopold de Belgique;

M. Auguste Moreau a été nommé chevalier du Cambodge;

M. Demetrius Monnier a été nommé professeur titulaire d'électricité industrielle (2e et 3e années) à l'Ecole Centrale;

M. J. Bergeron a été nommé professeur titulaire de minéralogie et de géologie (1re année) à l'École Centrale;

M. J.-J. Pillet a été nommé professeur du Cours de Constructions Civiles au Conservatoire national des Arts et Métiers, en remplacement de M. Émile Trélat, admis à la retraite.

M. le Président dit à ce sujet que M. Émile Trélat fera le lundi 5 novembre à 9 heures du soir au Conservatoire des Arts et Métiers la leçon d'ouverture du Cours de Constructions Civiles qu'il y a créé il y a quarante ans, et que, sans aucun doute, notre éminent ancien Président serait à la fois honoré et touché si ses Collègues de la Société venaient assister à cette séance.

M. le Président a encore à annoncer que : M. A. Beardsley a été nommé Président du Comité des Sciences et Arts du Franklin Institute;

M. Appert a obtenu à l'Exposition d'Anvers un grand prix pour sa magnifique exposition de verrerie;

MM. Gaget et Durenne, dont les noms ne figuraient pas sur la liste donnée au dernier procès-verbal, ont été membres du Jury de l'Exposition d'Anvers.

M. le Président signale parmi les ouvrages reçus :

Le deuxième volume de *la Pratique du Teinturier* par M. Garçon.

L'État actuel des Machines volantes par M. O. Chanute, ancien Président de la Société des Ingénieurs Mécaniciens de Chicago.

M. le Président annonce que M. Berlier a remis dix cartes destinées à ceux de nos Collègues qui seront désireux de visiter les travaux du siphon de Clichy.

Les visites auront lieu les 4, 5, 6 et 7 courant de 1 heure à 5 heures.

M. le Président rappelle qu'un Comité s'est constitué, il y a quelques années, pour élever un monument à la mémoire de E. Flachat et que M. Malo a fait à ce sujet une communication en séance; jusqu'à ces derniers temps cette question était restée au même point; mais M. Gottschalk et plusieurs amis ou élèves de l'éminent Ingénieur viennent de lui faire faire un grand pas. Ils ont ouvert une souscription qui s'élève actuellement à 25 000 *f*.

M. le Président n'a pas besoin de rappeler les services que Flachat a rendus à la Société dont il fut un des fondateurs et dont il fut élu sept fois Président, et croit seulement utile d'annoncer que le Comité de la Société a été d'avis :

1° Que la Société prenne sous son patronage l'érection du monument de Flachat.

2° Qu'elle s'inscrive à la souscription pour une somme de 5 000 *f*.

3° Que le soin de recueillir les fonds et d'ériger le monument soit confié à une Commission composée de tous les anciens Présidents de la Société et présidée par le Président en exercice.

M. le Président rappelle que l'article 116 des statuts exige que les dépenses extraordinaires soient ratifiées par une décision spéciale de la Société; il demande donc à l'Assemblée d'approuver la souscription de 5 000 *f* au monument Flachat.

Cette dépense est approuvée à l'unanimité.

M. le Président ajoute que la souscription s'élève donc actuellement à 30 000 *f*. Sur quatre-vingt-neuf souscriptions, soixante et onze proviennent des Membres de la Société qui ont versé la somme considérable de 20 600 *f*. Il espère que tous les Membres de la Société voudront se joindre à ces généreux souscripteurs en envoyant leur cotisation personnelle, car il importe que cette manifestation ait un caractère général, l'importance des cotisations étant devenue aujourd'hui secondaire.

M. Simon demande si l'on a déjà fixé l'emplacement du monument.

M. le Président répond qu'il est très difficile d'obtenir l'autorisation d'élever un monument sur une place de Paris; on pense pour celui de Flachat aux abords de la rue qui porte son nom; le comité des anciens

Présidents sera aidé dans sa tâche par notre Collègue M. Level qui est maire de l'arrondissement où se trouve la rue Flachat, et dont l'obligeance est bien connue.

M. P. Jannettaz a la parole pour présenter le *Compte rendu du dernier Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences*.

Le dernier Congrès de l'Association française s'est tenu à Caen du 9 au 15 août sous la présidence de M. Mascart.

Celui-ci a prononcé à la séance d'ouverture un très intéressant discours; après avoir rappelé la liste des grands hommes qui ont vu le jour en Normandie et dont plusieurs sont des gloires de la science moderne (Vauquelin, Laplace, Élie de Beaumont, Fresnel, Le Verrier), il a fait un magistral exposé de l'*Electricité moderne*, et a présenté les questions les plus complexes, au moyen de comparaisons extrêmement ingénieuses, qui l'ont fait comprendre de tous les assistants dont beaucoup n'étaient pas électriciens; en terminant, M. Mascart a dit que c'était à juste titre que le xixe siècle s'appellera le siècle de l'électricité.

M. Jannettaz ne peut prétendre donner le compte rendu de toutes les sections (celles-ci sont, en effet, au nombre de dix-sept); il s'attachera seulement aux questions qui se rapportent à l'art de l'Ingénieur, en commençant par celles qui ont été traitées dans la section du Génie Civil.

3e et 4e Sections (Génie Civil et Navigation).

Cette section a tenu ses séances sous la présidence de notre Collègue M. Grosseteste. Plusieurs autres Collègues, MM. Casalonga, Raffard et Arnoux sont venus y faire différentes communications.

M. Casalonga a fait l'exposé du *Projet d'électrométropolitain* qu'il a étudié avec la collaboration de M. Faure, et dont il a indiqué les grandes lignes dans une séance récente. M. Raffard a montré comment les *Mouvements louvoyants*, étudiés par M. Haton de la Goupillière, peuvent servir à vérifier l'équilibre des pièces de mécanique par rapport à leur axe de rotation; les valeurs énormes qu'atteignent aujourd'hui les nombres de tours dans certains appareils nécessitent qu'on obtienne pour l'équilibrage une précision, pour laquelle les procédés de vérification jusqu'ici employés sont insuffisants.

Il faut donc espérer que M. Raffard voudra bien développer cette question devant la Société. M. Jannettaz exprime le même vœu pour une communication de M. Arnoux relative à l'*Équilibre des régulateurs industriels*, où est exposée une théorie permettant d'étudier numériquement le degré de stabilité des régulateurs. M. Arnoux a également présenté de *Nouveaux appareils portatifs pour mesures électriques*.

M. Jules Martin, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, avait déjà saisi un précédent Congrès de la question des *Avantages et Inconvénients résultant de la grande vitesse des trains*.

Après avoir critiqué assez vivement certains articles du cahier des charges imposé aux Compagnies et analysé les prétentions contradictoires de celles-ci et du public, prétentions qu'il déclare exagérées dans les deux sens, l'auteur a fait l'examen détaillé des inconvénients et des avantages résultant de l'augmentation de vitesse.

Il a conclu qu'il faut rendre pleine justice aux progrès accomplis depuis dix ans dans les Compagnies bien administrées et qu'il convient seulement de stimuler celles qui n'améliorent pas leur situation.

M. Shoolbred, Ingénieur à Londres, a indiqué la situation actuelle de deux chemins de fer électriques d'Angleterre : 1° le *Chemin de fer électrique réunissant la cité aux quartiers sud de Londres ;* 2° le *Chemin de fer électrique aérien de Liverpool.*

M. G. Hersent a récemment parlé du premier dans le compte rendu (1) qu'il a fait en collaboration avec M. J. Fleury, du Congrès maritime de Londres : il serait donc inutile de donner ici d'autres indications que les chiffres suivants fournis par M. Shoolbred : nombre de kilomètres parcouru par les locomotives 2 millions et demi (depuis la fin de 1890) ; nombre de voyageurs 20 millions.

Le chemin de fer électrique de Liverpool a été également décrit dans le Bulletin de la Société (2). Sa longueur est de 10 *km ;* il fonctionne depuis le 6 mars 1893 ; au bout de dix-huit mois il avait transporté 20 millions de voyageurs.

M. Shoolbred a en outre traité de l'*Industrie électrique en Angleterre pendant l'année 1893.*

Il a expliqué qu'avant 1885 et même jusqu'en 1890 l'électricité n'avait pas fait de grands progrès en Angleterre parce que la législation y apportait des entraves. Après modification de la loi, l'industrie s'est beaucoup développée. Un fait remarquable est que dans presque toutes les villes importantes ce sont les municipalités qui se sont chargées de la distribution d'énergie électrique ; d'ailleurs, la plus grande partie de celle-ci est utilisée sous forme de lumière.

En ajoutant aux installations municipales celles qui sont dues à des entreprises particulières (tramways, chemins de fer électriques, etc.), on arrive d'après M. Schoolbred à établir que le capital qui y est engagé est de 250 millions de francs. Ces installations emploient en général des courants continus à basse tension qui, d'après les rapports annuels du ministère du Commerce, se montrent plus avantageux, au point de vue pécuniaire, que les courants alternatifs. M. Shoolbred a terminé par l'exemple de la ville de Bradford qui marche avec des courants continus à basse tension et qui a donné un revenu de 10 0/0 sur le capital versé.

La section du *Génie Civil* a reçu diverses communications manuscrites parmi lesquelles celle de notre Collègue M. Cottancin ayant pour titre *Travaux en ciment avec ossature métallique* et celle du Dr Jeannel sur l'*Anémoscaf* ou bateau mû par l'air et permettant l'interposition d'air sous la coque ; un bateau fondé sur ce principe est actuellement en construction.

1re et 2e Sections. — Mathématiques et mécanique.

Une question qu'il est utile de signaler ici parmi celles qu'a traitées la section de mathématiques et de mécanique, est *l'Utilité qu'il y aurait de mettre plus complètement les mathématiques pures au service des sciences d'application, notamment en ce qui concerne la mécanique.*

(1) Séance du 18 mai 1894.
(2) Chronique de mars 1894.

MM. Collignon et Laisant se sont particulièrement occupés de cette question, et le vœu suivant a été émis :

« La 1re et la 2e Sections, regrettant qu'il ne s'établisse pas un lien plus étroit entre les personnes qui cultivent la science mathématique et celles qui ont chaque jour à en appliquer les résultats,

» Expriment le vœu que des publications, rédigées en vue des Ingénieurs, prennent pour tâche spéciale d'extraire des travaux de mathématiques pures, et surtout de mécanique analytique, tout ce qui semble présenter un intérêt au point de vue des sciences d'application;

» Suivront avec le plus grand intérêt les tentatives qui pourront être faites dans ce sens et ne manqueront pas de les signaler pour les recommander à l'attention des Mathématiciens et des Ingénieurs. »

5e Section. — Géologie.

M. Levat, Ingénieur civil des mines, a présenté aux sections de Géologie et d'Agronomie deux communications relatives, l'une aux *Gisements de Calamine d'Algérie et de Tunisie*, l'autre à *l'Industrie des phosphates ;* il a présenté la statistique de cette dernière; on sait que le développement de la production et de la consommation des phosphates est considérable; M. Levat en a successivement étudié les causes: 1° abaissement des prix de vente, par suite des découvertes récentes faites en Floride et en Tunisie; 2° emploi des scories de déphosphoration; 3° vulgarisation, grâce à l'enseignement agricole, et aux Syndicats d'Agriculteurs, des notions relatives à l'utilité des engrais chimiques.

6e Section. — Physique.

Un appareil aussi intéressant par son principe que par ses résultats a été présenté par son inventeur, M. Gossart, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Caen. Cet appareil, appelé *homœotrope*, sert à l'analyse des mélanges liquides (alcools, essences, produits chimiques et pharmaceutiques); il est fondé sur le fait suivant : Lorsque d'un tube de verre effilé placé à environ 1 *mm* d'une surface plane de liquide on fait tomber une goutte liquide, cette goutte roule à la surface quand les deux liquides ont même composition chimique, mais plonge quand les deux liquides ont des compositions notablement différentes.

L'explication que M. Gossard donne de ce fait qu'un même liquide roule sur lui-même est simple: le matelas de vapeur, qui entoure la goutte, ne se dissout pas dans le liquide du vase si celui-ci est de même nature que la goutte, car lui-même est saturé de vapeur. C'est un phénomène du même genre que la caléfaction.

Quant à la constitution de l'appareil elle est des plus simples : 1° une petite coupe en verre moulé, ayant la forme d'un parallélipipède à base de losange et dont les parois verticales sont un peu convexes en dedans et se coupent suivant un angle voisin de 30°; 2° un compte-gouttes fixé à un support vertical. Grâce à sa forme, la cuve donne lieu, par suite de phénomènes capillaires, à un ménisque incliné sur lequel on fait tomber le liquide du compte-gouttes; les gouttes de même nature descendent la pente du ménisque en roulant; les autres font le plongeon.

M. Jannettaz en même temps qu'il décrit l'homœotrope en présente

un modèle mis gracieusement à sa disposition par M. Démichel, constructeur d'appareils de précision; il se propose de revenir avec quelques détails sur ce sujet dès que M. Gossart aura fait connaître les résultats d'une nouvelle série de ses recherches.

15e Section. — Économie politique.

M. Yves Guyot a développé des calculs fort ingénieux devant la section d'Économie politique relativement à la *Répartition du nombre des patrons, des ouvriers et des employés*, calculs desquels il a conclu qu'il y a plus de neuf patrons pour dix ouvriers. Si, en certains points, les modes de groupement adoptés prêtent à quelques réserves, il n'en est pas moins intéressant de voir ramener à l'état de préjugé l'opinion qu'il y a une infime minorité de patrons et des armées d'ouvriers.

M. Daniel Bellet s'est également livré à des recherches statistiques pour évaluer le *Rendement des tramways;* les nombres qu'il a ainsi réunis donnent des résultats curieux et qui pourront servir d'éléments à l'étude des avantages et des inconvénients des divers modes de traction.

17e Section. — Hygiène.

Dans la section d'hygiène, notre Collègue, M. Émile Trélat a parlé de la *Hauteur croissante des maisons de Paris.* Il a exprimé ses regrets de voir l'Administration appliquer les règlements de voirie avec une sévérité qui va sans cesse en diminuant, de telle sorte que les maisons s'élèvent de plus en plus haut, que les saillies s'avancent de plus en plus nombreuses et de plus en plus proéminentes en dehors des façades, d'où diminution de l'aérage, de l'éclairage et de l'ensoleillement.

Notre Collègue M. Blaise a présenté en collaboration avec M. Salmin un mémoire relatif à la *Protection du travail industriel*, qui comprend l'historique de la réglementation du travail depuis les maîtrises jusqu'aux lois les plus nouvelles édictées tant en France qu'à l'étranger. Cet intéressant travail a été récemment offert à la Société par ses auteurs.

Visites Industrielles.

M. Jannettaz énumère quelques autres communications sur lesquelles le temps l'empêche de s'arrêter, et passe à la description des visites industrielles qui ont été faites soit à Caen, soit pendant l'excursion qui a suivi le Congrès. Cette excursion, fort bien organisée par M. Gariel, Secrétaire Général, et par M. Cartaz, Secrétaire du Conseil de l'Association, avait pour but Jersey; on s'est arrêté en route, à Bayeux, à Carentan et à Cherbourg.

Parmi les visites industrielles faites à Caen, M. Jannettaz signale celle de la station centrale d'électricité tout récemment installée, et dont il décrit le fonctionnement; puis il insiste sur une excursion au canal de Caen à la mer. Cette excursion, organisée par M. Grosseteste et pour laquelle la Chambre de Commerce a bien voulu mettre un de ses remorqueurs à la disposition des Congressistes, a été particulièrement intéressante. Après avoir rappelé les différentes parties que comprend le port de Caen : 1° bassin de Caen, 2° canal de Caen à la mer, 3° port de Ouistreham, M. Jannettaz décrit les travaux d'enrochements exécutés pour empêcher

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer que, à la suite du travail du siphon sous la Seine de Clichy-Asnières, et à l'occasion de l'inauguration de cet important ouvrage, M. Berlier, auteur du projet et son exécuteur, a été nommé chevalier de la Légion d'honneur, et M. J. Amiot, chef des travaux, officier d'Académie.

M. Aug. Moreau a été nommé chevalier du Dragon de l'Annam.

M. LE PRÉSIDENT signale, parmi les ouvrages reçus, les deux volumes du *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole,* de M. Aimé Witz, qui ont été offerts à la bibliothèque par M. Bernard, éditeur.

Il faut espérer qu'un de nos Collègues voudra bien faire, dans l'une de nos séances, une analyse de cet important et fort intéressant ouvrage.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu la lettre suivante de la Société de géographie de l'Est.

Monsieur et cher Collègue,

Me conformant aux décisions de la Commission spéciale nommée par le Comité de la Société de géographie de l'Est, pour l'examen du projet de carte de la terre au 1/1 000 000ᵉ, j'ai l'honneur de vous adresser personnellement un exemplaire du tirage à part de mon rapport sur ce projet, lequel a paru dans le *Bulletin* du 3ᵉ trimestre 1894, envoyé à votre Société par la voie habituelle des échanges.

En l'adressant ainsi à la personnalité qui, de par ses fonctions mêmes, est notoirement la plus active de toute Société, notre Commission est convaincue que ledit rapport recevra la plus grande publicité; qu'il sera examiné avec autant d'attention que de compétence par vous-même ou par telle commission à laquelle vous croirez devoir le déférer. De la sorte, soit dans les réunions générales préparatoires qui pourront avoir lieu dans chaque pays comme en France, soit au Congrès international de 1895, nos conclusions auront été mûrement étudiées et seront discutées en pleine connaissance de cause, de manière à assurer la prompte réalisation du projet.

Confiant en votre zèle et en votre bienveillance, je vous prie d'agréer, Monsieur et cher Collègue, l'hommage de ma sympathique confraternité.

Le Secrétaire Général,
J.-V. BARBIER.

M. RÉMAURY présente le compte rendu d'un ouvrage de M. de Billy, Ingénieur des Mines, à Saint-Etienne, ayant pour titre : *la Fabrication de la fonte*, et faisant partie de l'Encyclopédie publiée sous la direction de M. Léauté, Membre de l'Institut.

Cet aide-mémoire est divisé en deux parties, comprenant chacune quatre chapitres.

La première partie est théorique; l'auteur entre en matière en rappelant, dans le chapitre Iᵉʳ, les réactions qui se passent dans le hau fourneau où il distingue deux zones : l'une de préparation des matières solides dans la cuve et les étalages, l'autre de combustion et de fusion dans la région inférieure. Après avoir montré la complexité des réactions chimiques de la réduction des minerais, et notamment l'action de

CO et de CO^2, le rôle du carbone solide et des cyanures, il insiste sur l'influence considérable de la température du vent pour diminuer la dépense de combustible et se rapprocher de l'allure dite idéale, en tenant compte du volume du haut fourneau. La fonte et les laitiers sont les produits fondus du roulement. Les gaz qui sortent du gueulard constituent un combustible dont la bonne utilisation est souvent le principal facteur de la prospérité des usines à fonte.

Le métal obtenu n'est pas un corps facile à définir. D'après M. Osmond, la fonte est une dissolution, dans le fer fondu, de corps solides, liquides ou gazeux, oxyde de carbone et hydrogène, entre autres, chimiquement combinés ou dissous; au moment de sa solidification, plusieurs éléments se liquatent et se séparent, de telle sorte que l'étude de la composition de la fonte et de ses propriétés constitue un problème assez délicat.

Le chapitre II est consacré à l'établissement du bilan calorifique du haut fourneau d'après M. Gruner.

Il faut compter d'abord les quantités de chaleur produites par la combustion soit aux tuyères, soit dans la zone de la cuve où se trouve principalement CO, soit enfin dans la zone supérieure avec production de CO^2; puis les quantités de chaleur fournies par le vent; en regard de ces quantités de chaleur, il y a la consommation due aux diverses réactions, puis les pertes par les parois ou par l'eau des tuyères et des appareils réfrigérants.

La consommation de carbone par tonne de fonte varie avec les minerais et les combustibles. On a fait de grands progrès sur ce chiffre de consommation qui, autrefois, pour le coke, était couramment de 1 500 *kg*, est descendu dans certains cas à 850 *kg*, et peut s'estimer, en moyenne, à 1 100 *kg*, sauf dans le cas de fontes très manganésées.

Le rendement thermique du haut fourneau combiné avec les avantages de sa forte production lui a assuré dans le passé et lui assurera probablement dans l'avenir le succès sur le principe des procédés directs essayés pour la plupart en pure perte.

Le chapitre III envisage le profil et l'allure des hauts fourneaux.

La nature du combustible, selon sa dureté, permet une hauteur plus ou moins grande; ainsi le charbon de bois s'écrase sous des charges dépassant 15 *m*; avec le coke dur on peut dépasser 20 *m*; tandis qu'aux États-Unis et en Angleterre, on aborde 24 *m* et quelquefois plus, en France, et notamment en Meurthe-et-Moselle, on ne dépasse guère 22 *m*.

Il importe que, dans la descente des charges, les gaz circulent de façon à échanger leur chaleur avec les minerais et les fondants aussi régulièrement que possible, de manière à effectuer la réduction avant un commencement de fusion des laitiers.

Dans les fourneaux au charbon de bois on peut réduire, carburer et fondre à plus basse température que dans les fourneaux au coke, où d'ailleurs la nécessité de laitiers plus calcaires, pour enlever le soufre, exige aux tuyères une température plus élevée pour la fusion.

La bonne circulation des gaz est assurée par une pente assez raide des étalages; il faut, comme profil, se rapprocher de celui qui correspond à la descente naturelle de la charge.

Quant à l'allure, elle est réglée par la quantité de vent soufflé aux tuyères.

Pour une forte production, on doit brûler le plus possible de combustible dans un temps donné, et afin de ne pas troubler la bonne répartition des températures, on arrive à l'élargissement du creuset et à une augmentation de pression du vent.

Tandis qu'en Europe on s'est tenu généralement à la pression de 0,20 *m* de mercure, on est arrivé en Amérique à produire dans un fourneau de 580 m^3, avec du vent chauffé à 600°, l'énorme quantité de 350 *t* de fonte en vingt-quatre heures, avec un minerai rendant 62 0/0 de fer. La consommation de coke est descendue alors à 840 *kg* par tonne de fonte.

Sans insister sur les avantages généraux et certains inconvénients particuliers de l'allure rapide américaine qui a doublé les pressions de vent usitées en Europe, en les poussant jusqu'à 40 et 50 *cm* de mercure, il convient de noter actuellement sur le continent la tendance à construire des souffleries plus puissantes, afin de marcher à des pressions supérieures à 20 *cm*. Du reste, en Amérique, on règle l'allure des hauts fourneaux par le nombre de tours des machines soufflantes plutôt que par la pression de vent aux tuyères.

Le chapitre IV est relatif au roulement des hauts fourneaux.

La classification des fontes donne trois catégories principales, savoir : les fontes d'affinage, les fontes de moulage et les fontes pour acier ; puis viennent les fontes spéciales avec proportions variables de silicium, manganèse. chrome, tungstène, nickel, etc.; ces produits prennent les noms de spiegels, silico-spiegels, ferro-manganèse, ferro-chrome, ferro-nickel et renferment des teneurs en carbone depuis 2,50 jusqu'à 7 0/0. D'ailleurs, c'est moins la teneur que l'état du carbone qui différencie les fontes.

Dans la fonte blanche liquide, le carbone est dissous dans le fer, mais pendant le refroidissement il se forme, vers 695°, une combinaison particulière du carbone et du fer.

Dans la fonte grise liquide, il y a en dissolution divers corps, et notamment du silicium et du carbone ; ce dernier, en excès, se précipite sous forme de graphite, au moment de la solidification.

Le silicium et le manganèse jouent un rôle inverse pour le maintien du carbone à l'état de dissolution dans le fer fondu et refroidi.

Mais si on brusque le refroidissement, on a les phénomènes de trempe.

Vient ensuite la série des combustibles employés, savoir : les houilles sèches, l'anthracite, le charbon de bois et le coke, avec des considérations sur l'effet utile de ces combustibles.

Le chapitre se termine par le calcul du dosage.

La gangue des minerais doit former, avec les cendres des combustibles et avec le fondant ajouté à la charge, un laitier en rapport avec l'allure du fourneau et le genre de fonte à produire.

Le laitier est un silicate soit acide, quand il contient plus de 50 0/0 de silice, soit basique, quand il en renferme moins de 40 0/0 ; les autres éléments principaux sont en général l'alumine, la chaux, la magnésie et quelquefois la baryte. L'alumine, qui se comporte comme une base jusqu'à 17 0/0, joue le rôle d'un acide au delà de cette proportion.

La multiplicité des bases augmente la fusibilité des laitiers.

Les laitiers acides sont surtout ceux du roulement en fonte au bois; on peut, en effet, dans cette fabrication, obtenir des fontes graphiteuses à une température relativement peu élevée, inférieure à celle du roulement en fonte blanche au coke.

Les laitiers acides sont accidentels dans les hauts fourneaux au coke; ils doivent être basiques, car la silice déplace le soufre des sulfures alcalins et terreux mélangés aux silicates dans les laitiers.

Les laitiers de fonte blanche retiennent de 3 à 4 0/0 d'oxydes métalliques, et ceux de fonte grise environ 1 0/0. Le principal fondant employé au fourneau porte le nom de « castine »; on choisit des calcaires aussi purs que possible et exempts de silice.

La quantité de laitier produite par tonne de fonte est un chiffre important; en Meurthe-et-Moselle, on recherche les minerais à gangue calcaire, et quand c'est possible, on fait intervenir comme fondants des calcaires ferrugineux; on obtient ainsi les lits de fusion les plus avantageux.

M. Rémaury glisse très rapidement sur la *deuxième partie*. C'est la partie pratique; elle doit être lue en entier.

Le chapitre V traite du haut fourneau et de ses accessoires. Il décrit la construction des différentes parties, les moyens de refroidissement, les appareils de chargement, les appareils à air chaud, les chaudières, les souffleries, et généralement tout ce que comprend une usine à fonte, depuis la halle de coulée jusqu'au décrassage.

Le chapitre VI est relatif à la conduite du haut fourneau; la mise en feu et hors feu, la répartition du personnel, la marche normale, les réparations en cours de marche, les causes principales de dérangement et les remèdes possibles sont passés en revue.

Le chapitre VII offre des exemples d'applications:

1° Un haut fourneau américain de l'usine d'Edgar Thomson, marchant en fonte Bessemer, et produisant 330 *t* de fonte en vingt-quatre heures.

2° Un haut fourneau anglais de Middlesborough (Cleveland), produisant, en vingt-quatre heures, 80 *t* de fonte n° 3 de moulage.

3° Un haut-fourneau de Meurthe-et-Moselle, produisant, en vingt-quatre heures, 95 *t* de fonte de moulage.

M. Rémaury laisse de côté les exemples de fourneaux marchant à la houille crue ou au charbon de bois pour arriver plus vite au chapitre VIII. Il se borne à mentionner ce chapitre, qui présente des prix de revient difficiles à comparer d'un pays à un autre, quand déjà, dans un même district, il y a des écarts considérables suivant le roulement et les fontes produites.

En résumé, l'ouvrage de M. de Billy est non seulement un aide-mémoire indispensable à ceux qui s'occupent de la fabrication de la fonte, mais un exposé à peu près complet, dont la lecture s'impose à tous ceux qui veulent se rendre compte des derniers progrès dans la fabrication de la fonte, soit en France, soit au dehors, et particulièrement en Amérique, qui est actuellement le pays le plus grand producteur du monde.

M. le Président remercie M. Rémaury de son très intéressant compte rendu et donne la parole à M. G. Dumont pour présenter son *Étude sur le transport de l'énergie à grande distance par l'électricité et sur les transmissions électriques par courant continu*, étude faite avec la collaboration de MM. G. Baignères et Lencauchez.

M. G. Dumont montre en commençant comment l'électricité permet de transporter l'énergie à grande distance et de la transmettre à petite distance dans les ateliers, en donnant ainsi à ce problème si important une solution que, dans le premier cas, on ne saurait atteindre avec les procédés purement mécaniques, et que, dans le deuxième cas, on reconnait souvent fort avantageuse. Puis il dit que le but de son étude est de renseigner exactement les Ingénieurs Civils sur ces questions qui les intéressent directement et de leur permettre de se rendre compte de ce qu'ils peuvent attendre de ces nouvelles méthodes au point de vue essentiellement pratique.

Son mémoire, très détaillé et comprenant une quantité de documents soigneusement contrôlés, ne saurait être en séance que l'objet d'une analyse; aussi, M. G. Dumont, laissant de côté les parties de son étude qui contiennent des calculs, ne développe seulement que celles qui concernent les applications.

L'étude est divisée en quatre parties :

I. — Transport de l'énergie à grande distance ;

II. — Transmission de l'énergie à petite distance et dans les ateliers ;

III. — Exemples de transport et de transmissions électriques ;

IV. — Production de la force motrice à la station génératrice.

En ce qui concerne la *première partie*, M. G. Dumont montre d'abord, par une série d'applications réalisées en Suisse, combien est importante la question du transport de la force à grande distance et explique que pour résoudre ce problème avec une suffisante économie, il est indispensable d'avoir recours aux hautes tensions. Faisant l'historique rapide de la question depuis les célèbres expériences de Sermaize, en 1879, pour arriver aux applications actuelles, il explique pourquoi, après avoir eu recours aux courants continus, on est revenu à l'emploi des courants alternatifs simples, puis aux courants alternatifs biphasés, triphasés, etc...., qui paraissent offrir actuellement la solution la plus avantageuse. Cette partie de la communication, qui contient une foule de renseignements précis et d'exemples pratiques, se termine par l'indication du dernier progrès réalisé par M. Maurice Leblanc : la transformation du courant alternatif en courant continu.

Dans la *deuxième partie* de sa communication, M. G. Dumont, après avoir énoncé les nombreux avantages des transmissions électriques dans les usines et dans les ateliers; explique le mode de fonctionnement des divers types d'électromoteurs, calcule leur rendement électrique et leur rendement industriel ; indique dans quel cas il convient de choisir des électromoteurs en série, en dérivation ou compound ; explique les modes de distribution du courant à ces électromoteurs, et termine enfin par la marche à suivre pour le calcul d'un transport ou d'une transmission, en donnant plusieurs applications numériques qui ne laissent aucun

doute sur la façon d'appliquer les formules générales dans les divers cas de la pratique.

L'auteur passe ensuite à l'examen des différents modes de transmissions électriques d'ateliers : transmission par groupes ou conduite individuelle des outils par moteurs électriques spéciaux à ces outils. Il discute les avantages et les inconvénients de l'une et de l'autre méthode en accompagnant ses explications d'exemples pris dans des installations existantes.

Une partie importante et intéressante du mémoire est l'étude comparative des rendements des transmissions électriques par moteurs de groupe et par moteurs individuels, basés sur de nombreux essais exécutés dans divers ateliers, et la conclusion qui se dégage de cet examen c'est que, dans bien des cas, on a avantage, malgré la majoration des frais de premier établissement, à préférer la solution électrique à la solution purement mécanique.

Enfin, M. G. Dumont étudie les différents systèmes de commande des machines-outils par les électromoteurs, donne de nombreux exemples de commandes de ce genre, et il se dégage de ses explications qu'aujourd'hui pour obtenir des résultats vraiment pratiques on ne saurait confier l'étude de ces questions aux seuls électriciens, mais qu'il est indispensable que les Ingénieurs s'en occupent eux-mêmes en collaboration avec ceux-ci. C'est pourquoi la Société des Ingénieurs Civils de France a, avec raison, créé une section d'électricité et s'intéresse actuellement à toutes ces questions.

La *troisième partie*, la plus intéressante pour l'auditoire, avait pour objet de montrer par des exemples variés, appropriés à des industries diverses et accompagnés de vues photographiques, avec quelle souplesse l'électricité se prête à des travaux de tous genres. Voici la nomenclature des applications et des installations qui ont été examinées :

Application des moteurs électriques à la manœuvre des pompes, aux appareils de levage (monte-sacs, grues, etc.), aux ponts roulants ;

Transport de force électrique aux ateliers de Dietrich, à Lunéville ;

Installation électrique des carrières d'Euville ;

Établissement vinicole de MM. Pech et Baudoin, en Algérie ;

Transmission électrique d'ateliers par groupes à la manufacture d'armes d'Herstal, près Liège (Belgique) ;

Exemple de transport de force aux cristalleries du Val-Saint-Lambert.

M. G. Dumont termine en disant que les nombreux exemples qu'il vient de citer prouvent que l'on possède aujourd'hui le moyen de distribuer la force par l'électricité, non seulement avec la plus grande facilité, mais encore avec des rendements industriels très satisfaisants. Étant donnée la possibilité d'effectuer cette distribution à l'aide de simples lignes aériennes, relativement peu coûteuses, faciles à déplacer et s'adaptant à toutes les exigences des locaux dont on dispose, il est évident que c'est à ce mode de transmission que l'on devra donner la préférence pour l'organisation du service mécanique de la prochaine Exposition de 1900.

Aussi l'électricité, qui n'était qu'un accessoire en 1878, mais qui a été utilisée avec tant de succès en 1889 pour l'éclairage, est-elle appelée,

suivant M. G. Dumont, à jouer un rôle prédominant en 1900, non seulement pour l'éclairage, mais aussi pour la distribution et la transmission de l'énergie électrique.

M. G. Dumont n'a pas eu le temps d'analyser la dernière partie de l'étude, spécialement rédigée par M. Lencauchez, et qui donne des renseignements intéressants et précis sur les différents modes de production de la force motrice dans les stations génératrices, afin d'arriver à la meilleure utilisation possible des forces naturelles quand on peut en disposer, ou à la plus grande économie dans la génération de la force quand on doit avoir recours aux machines à vapeur. Cette partie de la communication présente un intérêt majeur, tant par l'importance du sujet traité que par l'autorité de celui qui l'a rédigée.

M. le Président dit que les applaudissements qui ont suivi la communication de M. G. Dumont lui montrent le grand intérêt que les membres de la Société ont eu à l'entendre. Ce travail fera honneur au *Bulletin* de la Société; M. le Président adresse à M. G. Dumont et à ses Collaborateurs ses très vifs remerciements.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. L.-D. David, L. Paraf, et P.-F.-A. Crozet, comme Membres Sociétaires.

MM. C. Brault et R. de Rautlin de Roy sont reçus Membres Sociétaires.

La séance est levée à 11 heures.

NOTE

SUR

L'APPLICATION DE L'ALUMINIUM

AUX

CONSTRUCTIONS NAVALES

PAR

M. G.-J. HART

Dans la séance du 3 avril 1891, notre collègue, M. Ch. Haubtmann, a fait une remarquable communication sur la métallurgie de l'aluminium. Cette communication a été insérée *in extenso* au *Compte rendu des travaux de la Société*, ainsi qu'une note sur l'aluminium et ses alliages, due à M. Spiral, étudiant les propriétés des différents alliages que l'aluminium forme avec l'acier, le fer, le cuivre, l'étain et le zinc (1).

La présente note ne reviendra donc pas sur ce sujet traité d'une manière très complète et qui a donné lieu à une discussion intéressante à laquelle ont pris part MM. Jordan, Haubtmann, Spiral, Regnard, Casalonga et Lencauchez. Elle ne veut qu'attirer l'attention de la Société sur les progrès réalisés depuis cette époque, et notamment sur quelques applications faites dans ces dernières années au matériel de navigation, et tout récemment, à la marine de guerre.

La légèreté des matériaux offre, en effet, pour les constructions navales une très grande importance. A ce titre, l'emploi de l'aluminium à l'état pur ou sous forme d'alliage à forte teneur d'aluminium pourra avoir une influence considérable et peut-être causer dans la construction navale une révolution analogue à celle qui est résultée de l'emploi de l'acier doux.

Jusqu'en 1891, l'aluminium a été regardé sinon comme un métal de laboratoire, du moins comme un métal inapplicable aux pièces un peu importantes, en raison de son prix élevé.

(1) Voir *Mémoires et Comptes rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France*, année 1891, pages 397 à 506.

Les procédés d'extraction, chimiques d'abord (H. Sainte-Claire-Deville, Castner, Netto, Grabau), puis thermo-électriques (Cowles) étaient, en effet, fort coûteux, et ce n'est que grâce à l'apparition des procédés électrolytiques que le prix de l'aluminium a pu baisser suffisamment pour rendre possibles les applications dont il sera question plus loin.

Aujourd'hui, les trois procédés électrolytiques les plus répandus *industriellement* sont :

1° Le procédé Héroult, employé par la Société Électro-métallurgique de France dans son usine de Froges (Isère) et par l'Industrial Aluminium actien Gesellschaft, à Lauffen-Neuhausen (Suisse). Sa caractéristique est l'emploi du courant électrique, tant pour fondre le minerai que pour réduire l'alumine;

2° Le procédé Minet, employé par MM. Bernard frères, à Creil (Oise), n'utilisant le courant que pour la réduction de l'alumine, et nécessitant une source de chaleur extérieure pour maintenir à l'état liquide le bain électrolytique;

3° Le procédé Hall, employé par la Pittsburg Reduction Company, en Amérique, qui se rapproche beaucoup du procédé Minet et n'en diffère guère que par des détails dans la conduite de l'opération.

Le métal produit par ces divers procédés n'est pas, en général, chimiquement pur. Jusqu'en ces derniers temps, il contenait toujours 2 à 3 0/0 d'impuretés, principalement de la silice et du fer.

Le rôle de ces deux métaux n'est pas parfaitement défini, cependant la présence de la silice dans l'aluminium paraît augmenter sa résistance et sa dureté.

L'aluminium devient pâteux vers 500° et fond vers 650°, mais la présence de 1 0/0 de fer suffit pour élever le point de fusion à 750°. Il paraît perdre une partie de ses qualités entre 4 et 500°, mais les retrouve si le recuit est plus prolongé.

Son coefficient de dilatation linéaire est, entre 0° et 100°, de 0,0000206, c'est-à-dire presque le même que celui de l'étain (0,00002173). Sa capacité calorifique est de 73,6 0/0, celle de l'argent étant représentée par 100. Enfin, lors de son refroidissement après coulée, son retrait est de 2,26 0/0 sur les dimensions du moule.

L'aluminium coulé est mou, très ductile et très malléable. Le laminage et le martelage le rendent dur, mais en même temps très cassant si ces opérations sont exécutées à froid. Aussi est-il

nécessaire de le recuire après travail, ce qui présente, d'ailleurs, beaucoup moins de difficultés que pour l'acier.

Ces variations dans les qualités du métal font comprendre l'influence prépondérante que peut avoir la conduite du travail et la méthode suivie pour l'exécuter sur la valeur des produits obtenus.

C'est ainsi que la résistance de l'aluminium pur peut varier de 10,6 *kg* à 20 *kg* par millimètre carré, sa limite d'élasticité de 4,25 *kg* à 10 *kg* et sa contraction de 15 0/0 à 40 0/0.

Les principaux alliages à forte teneur d'aluminium utilisés industriellement sont ceux qu'il forme avec le cuivre, l'étain et le zinc. L'aluminium est aussi employé dans la métallurgie du fer et de l'acier, mais à de très faibles doses, quelques millièmes.

Les seuls inconvénients présentés par l'aluminium sont la facilité avec laquelle il s'écrouit et devient cassant s'il n'est pas recuit après travail, et la difficulté qu'on rencontre à le souder. On y arrive cependant à l'aide de soudures à base d'aluminium et de zinc avec un fondant, mais c'est toujours une opération délicate si les pièces à souder ont des dimensions un peu considérables.

On annonce cependant que M. Adolphe Delescluse (de Saint-Dizier) vient de trouver un procédé pour souder l'aluminium sans décapage préalable et sans interposition de résine, mais aucun renseignement n'est donné sur la nature de la soudure non plus que sur la nature d'opérer.

Généralement, le métal employé pour les constructions n'est pas de l'aluminium pur, mais un alliage d'aluminium et de cuivre, ce dernier métal y entrant dans la proportion de 3 à 6 0/0. Le travail de cet alliage présente moins de difficultés que celui de l'aluminium pur. Sa résistance à la traction (30,7 *kg* à 38,6 *kg* par millimètre carré) est supérieure à celle de l'aluminium pur (18,7 *kg* en moyenne) et sa densité est très voisine de celle de ce dernier métal (2,71 à 2,82 au lieu de 2,67).

Une teneur en cuivre supérieure à 6 0/0 paraît diminuer la résistance tout en augmentant la densité.

La première usine qui ait entrepris en France le travail industriel de l'aluminium, est celle de M. Charpentier Page, au Valdoie, près Belfort. Aujourd'hui, d'autres usines se sont installées, et des établissements métallurgiques considérables, tels que le Creusot, commencent à entreprendre ce genre de fabrication.

C'est avec de l'aluminium travaillé au Valdoie qu'ont été exécutées les premières applications à la construction des navires de mer.

L'application de l'aluminium aux constructions navales n'a paru d'abord intéresser que la navigation de plaisance pour laquelle la question de prix est secondaire, mais les résultats obtenus ont conduit à penser que l'aluminium pourrait rendre des services très appréciables dans les constructions légères de la marine de guerre, et on entrevoit même aujourd'hui, grâce à son emploi, la possibilité d'augmenter très sensiblement la vitesse des navires de taille moyenne.

L'inaltérabilité presque absolue du bronze d'aluminium au contact de l'air, de l'eau douce, et même dans certaines conditions, au contact de l'eau de mer, présente aussi des avantages très sérieux.

Sans parler des applications partielles sur les navires de grandes dimensions, il est certain que l'emploi de l'aluminium dans des cas spéciaux, tels que la construction des embarcations actuellement si lourdes, serait très intéressant.

La première application de l'aluminium à la navigation a été faite par la maison Escher Wyss de Zurich qui, en 1891-1892, a construit trois embarcations à pétrole en bronze d'aluminium.

Les deux premières avaient 5,25 *m* de longueur, 1,50 *m* de largeur, 0,800 *m* de creux et 0,50 *m* de tirant d'eau. Les figures 3, 4 et 5 en donnent les coupes et le plan. Le bordé avait 1,5 *mm* d'épaisseur et la membrure était formée d'une quille en aluminium de 80 *mm* de hauteur sur 10 *mm* d'épaisseur et de couples également en aluminium formés de cornières de 18/18, réunis par le bas au moyen de varangues évidées. Toutes les pièces de l'armement et même certaines pièces du moteur (cheminée, enveloppe de chaudière, etc...) étaient aussi en aluminium. Tout armé et machine comprise, chacun de ces canots ne pesait que 430 *kg* sur lesquels l'aluminium entrait pour 130 *kg* environ. Le bénéfice en poids dû à la substitution de l'aluminium à l'acier et au fer, ressort donc à :

$$\frac{130 \times 8}{2,7} - 130 = 255 \; kg, \text{ soit } \frac{255}{300 + \dfrac{130 \times 8}{2,7}} = 36 \; 0/0$$

du poids total de l'embarcation construite entièrement en acier.

La vitesse de ces canots à pétrole fut remarquable puisqu'elle atteignit 10 *km* à l'heure.

A la suite de ces résultats satisfaisants, la maison Escher Wyss entreprit pour le compte de M. A. Nobel (de Paris) la construc-

tion d'une embarcation de plus grande dimension que reçut le nom de *Mignon*.

Celle-ci avait 11,900 *m* de longueur entre perpendiculaires, 14,150 *m* de longueur au pont, 1,800 *m* de largeur hors bordé et 0,900 *m* de creux sur quille; son tirant d'eau était de 0,650 *m*.

Les figures 6 à 12 en donnent la coupe longitudinale, les coupes transversales et le plan. La construction était analogue à celle des embarcations précédentes. La quille de 0,178 *m* sur 0,025 *m* d'épaisseur est en aluminium ainsi que les couples formés de cornières de 25/25 pour les couples principaux et 18/18 pour les autres, sauf pour ceux placés sous le moteur, qui sont en cornières 35/35.

L'écartement des couples est de 0,400 *m* environ et le bordé a 2 *mm* d'épaisseur dans les fonds, 1,5 *mm* dans les hauts.

Les pontages et caissons à air destinés à assurer l'insubmersibilité sont en tôle d'aluminium de 1 *mm* d'épaisseur. L'étrave, avec guibre très élancée, et l'étambot sont également en bronze d'aluminium massif. Toutes les pièces de l'armement et la plus grande partie de celles du moteur sont en aluminium; le gréement lui-même a tout son dormant en fil d'aluminium; seules les manœuvres courantes sont en manille. Les accastillages sont en cèdre du Liban et très luxueux.

Ce canot est muni d'un très léger rouf mobile en osier tressé. Sa coque n'a reçu aucune peinture.

Le moteur à pétrole comporte trois cylindres à simple effet. Il a une force de 6 *ch* et repose sur une carlingue en aluminium forgé.

L'embarcation pèse, tout armée, 1 500 *kg*, poids dans lequel l'aluminium entre pour 700 *kg*. Le bénéfice en poids dû à l'emploi de l'aluminium est donc de

$$\frac{700 \times 8}{2,7} - 700 = 1\,374\,kg, \text{ soit } \frac{1\,374}{800 + \frac{700 \times 8}{2,7}} = 49\ 0/0$$

du poids total de l'embarcation construite en acier de mêmes échantillons.

La vitesse atteignit 13 *km* à l'heure avec une consommation de 8 *kg* environ de pétrole, soit environ 2 *km* de plus que les embarcations similaires en bois ou en fer.

Le métal employé pour ces diverses constructions provenait de l'usine de Neuhausen, son prix a varié de 8 à 12 *f*, suivant le genre de pièces. Il contenait 3 à 5 0/0 de cuivre. Sa résistance

était, après travail à froid, de 28 *kg* par millimètre carré, mais il était alors très cassant et son allongement n'était que de 4 0/0. Après recuit, sa résistance n'était plus que de 15 à 16 *kg*, mais l'allongement atteignait 18 à 20 0/0.

Le rivetage des tôles a été exécuté à l'aide de rivets en bronze d'aluminium à 6 0/0 de cuivre. Les proportions des rivures, formées de rivets fraisés extérieurement avec tête à l'intérieur, sont restées les mêmes que celles usitées pour l'acier, les couvre-joints longitudinaux ne comportaient qu'un rang de rivets, mais les couvre-joints transversaux en avaient deux.

Ces dispositions n'ont donné lieu à aucun inconvénient; mais il faut remarquer qu'il ne s'agit ici que d'embarcations de faibles dimensions et destinées à naviguer en eau calme. Pour des embarcations de mer, la question des rivures et des joints demande à être étudiée avec le plus grand soin.

La malléabilité du bronze d'aluminium, en augmentant la difficulté du matage, rend cette étude indispensable. On peut, il est vrai, rendre l'étanchéité plus parfaite en interposant, comme on le fait dans les ateliers de chaudronnerie pour les réservoirs sans pression, du papier enduit de blanc de céruse entre les surfaces en contact.

Le prix de ces divers canots fut assez élevé, 8 000 *f* pour les premiers et 22 000 *f* pour *le Mignon*, ce qui tient en grande partie au prix considérable du moteur et surtout au luxe des aménagements.

Les résultats obtenus étaient donc des plus encourageants, et au commencement de 1892, un journal spécial, *le Yacht*, qui publie des articles très étudiés sur toutes les questions intéressant la navigation, donna une étude sur l'application de l'aluminium aux yachts de mer (1).

Cette étude, très complète, due à M. V. Guilloux, Ingénieur de la Marine hors cadre, dont nous retrouverons le nom intimement lié à la construction du premier navire de mer en aluminium, fit ressortir l'avantage résultant de cet emploi tant au point de vue de la vitesse que de la stabilité.

Cette étude démontre que pour un yacht de 10 *tx* de déplacement, le bénéfice sur le poids de coque proprement dit est de 2,5 à 3 *tx*, suivant qu'on fait la comparaison avec une coque en bois ou en fer. C'est un bénéfice de 25 à 30 0/0 qui permet d'augmenter

(1) Voir *le Yacht*, année 1892, n°s 728, 729 et 730.

d'autant le lest en plomb placé dans la quille et d'abaisser, par suite, le centre de gravité de 20 à 22 *cm*.

De là une augmentation possible de voilure et, par suite, de vitesse.

Ces diverses considérations ont conduit M. le comte de Chabannes-La Paiice à tenter la construction d'un yacht à voiles en aluminium, malgré la majoration notable de prix qu'entrainait l'emploi de ce métal.

La construction ce ce yacht, *le Vendenesse*, fut confiée aux Forges et Chantiers de la Loire à Saint-Denis, et fut dirigée par M. V. Guilloux.

Les dimensions de ce yacht étaient les suivantes :

Longueur à la flottaison	12,00 *m*
— au pont.	17,40
Largeur au fort.	2,85
Tirant d'eau	2,55
Déplacement (à la flottaison du plan). . . .	15 *tx*
Poids de lest en plomb dans la quille	11 *tx*
Surface de voilure.	180 m^2

Cette surface de voilure et le poids du lest exigeaient une coque très solide malgré sa légèreté et pour lui donner plus de raideur, la membrure fut faite, pour moitié, en cornières d'acier assemblées de telle sorte que l'effort de la voilure se répartit aussi uniformément que possible. Les figures 13 à 15 donnent la coupe longitudinale, la coupe transversale et le plan du *Vendenesse.*

Ce yacht est divisé en trois parties, par deux cloisons étanches en aluminium montant jusqu'au pont qui a une épaisseur de 3 *mm* et est recouvert de linoléum.

Le travail de rivetage a été exécuté avec le plus grand soin, après des essais nombreux, et malgré la faiblesse d'échantillon du bordé qui n'a que 3 *mm* ou 4 *mm* d'épaisseur, suivant les endroits, la coque fut complètement étanche, même sous l'action d'un jet de pompe fonctionnant à la pression de 2 *kg*.

Les matériaux du *Vendenesse* proviennent du Valdoie et de la Société des Métaux, et les tôles ont bien supporté le travail à froid malgré les formes quelquefois contournées qu'elles ont dû prendre.

Le poids de l'aluminium entrant dans la construction a été d'environ 1 100 *kg* remplaçant 3 100 *kg* d'acier, ce qui représente un gain de 2 000 *kg* environ, aussi le rapport du poids de coque au

déplacement n'est-il que de 18,5 0/0, chiffre très faible pour une coque destinée à porter un lest de 11 *t* dans la quille.

C'est à peu près 40 0/0 de bénéfice en poids sur une coque en bois et presque autant sur une coque en acier ou en fer.

Malgré cette légèreté, *le Vendenesse* a bien supporté une épreuve de renversement exécutée le lendemain de la mise à l'eau, épreuve durant laquelle le yacht conserva pendant plus de deux heures une inclinaison de 38° à 40° sans accuser de déformation, malgré la grandeur du bras de levier à l'extrémité duquel agissait le lest de 11 *tx*.

Les essais à la mer ne firent d'ailleurs que confirmer cette solidité. Malgré des sorties fréquentes par des temps assez durs et une traversée très mouvementée de Honfleur à Gosport, on ne constata aucune fatigue dans la coque.

Le seul reproche qu'on puisse faire à cette construction est sa sonorité excessive qui transforme la coque en une caisse de résonnance et amplifie le bruit fait par le frottement de l'eau sur le bordé et le choc des lames.

La sobriété des aménagements sur ce yacht destiné à la course contribue certainement à ce résultat et des aménagements plus complets diminueraient sans doute cette sonorité dans une forte proportion.

Le séjour à la mer a fait ressortir que l'action corrosive de l'eau de mer est beaucoup moins sensible qu'on ne pouvait le craindre, même si l'aluminium est en contact avec du cuivre. D'une manière générale, les végétations paraissent se développer moins vite sur l'aluminium que sur le fer ou l'acier. Du reste, l'oxydation constatée sur certaines parties de la coque dénudées de leur peinture a été tout à fait superficielle. Un séjour de cinq mois dans le bassin du Commerce du Havre, qui reçoit des eaux d'égout acides, a montré que malgré des actions galvaniques causées par le voisinage immédiat d'un navire doublé en cuivre, les corrosions ont été insignifiantes. Il suffit de repeindre la coque sans aucune réparation.

On peut conclure de cette expérience prolongée exécutée dans des conditions défavorables que, pratiquement, le bronze d'aluminium est très peu attaquable à l'eau de mer dans les circonstances ordinaires et qu'une peinture appropriée suffit à la préserver.

Un abordage avec un vapeur a démontré aussi que le bordé en aluminium résiste très bien aux chocs, mêmes violents.

Ces résultats viennent seulement d'être connus, en raison du temps nécessaire à ces diverses épreuves; aussi depuis cette époque, aucune nouvelle construction un peu importante en aluminium n'avait-elle été tentée.

Il faut dire cependant qu'un premier chaland en aluminium *l'Étienne*, destiné à la mission Monteil, a été construit en 1893, par la maison Costelin-David, de Mézières, et un second *le Jules-Davoust*, a été construit à Paris pour la mission Hourst, mais ils sont uniquement destinés à la navigation fluviale.

L'Étienne a 10 *m* de longueur, 2,50 *m* de largeur, 0,80 *m* de creux, 0,50 *m* de tirant d'eau et déplace 10 *tx*. Son poids de coque est de 850 *kg*, malgré la présence d'une quille et de nombreux boulons d'assemblage en acier et d'aménagements en bois. Construit en acier, ce chaland eût pesé 2 500 *kg*, soit 1 650 *kg* de plus. Le bénéfice en poids ressort donc à 66 0/0.

La section de *l'Étienne* est trapézoïdale avec angles inférieurs arrondis sur un rayon de 200 *mm*. La coque se partage en onze tranches transversales, se divisant elles-mêmes en deux parties symétriques par rapport à l'axe longitudinal.

Comme la quille forme elle-même trois parties s'assemblant à l'aide de boulons, et que dix autres parties sont formées par les cloisons transversales et les pièces accessoires, le nombre total de fragments ne dépassant pas 25 *kg* et facilement transportables est de trente-cinq.

L'assemblage des tranches, formées de tôle d'aluminium de 4 *mm* d'épaisseur, se fait à l'aide de cornières de 60 × 60 × 6, également en aluminium, serrant sur une bande de caoutchouc par l'intermédiaire de boulons en acier galvanisé.

Comme pour *le Vendenesse*, les tôles et cornières sont en bronze d'aluminium, à 6 0/0 de cuivre, provenant de l'usine de Froges et travaillé au Valdoie. La coque n'a reçu aucune peinture.

Le Jules-Davoust, construit pour la mission Hourst, est tout à fait analogue à *l'Étienne*. Il a 12 *m* de longueur, 2,80 *m* de largeur, 0,80 *m* de creux et 0,42 *m* de tirant d'eau en charge. Il déplace 11,200 *tx* et ne pèse que 2 200 *kg*. Construit en acier, il eût pesé environ 6 500 *kg*, soit 4 300 *kg* de plus. Le bénéfice en poids ressort donc à 66 0/0.

Cette embarcation se divise en fragments de 40 *kg* et ses assemblages sont analogues à ceux de *l'Étienne*. Pas plus que celui-ci, elle n'a reçu de moteur qui aurait rendu le transport difficile, mais, en raison du service hydrographique auquel elle est des-

tinée, elle a reçu trois mâts gréés de voiles latines. Outre ces deux constructions, une vingtaine de chaloupes et chalands ont été commandés à Argenteuil pour le compte des Ministères de la Marine et des Colonies.

Le port de Toulon a fait également construire une baleinière de 8 *m* de longueur en tôle d'aluminium de 2 *mm*, avec membrures en cornières de 20 × 20 × 2, mais il faut arriver jusqu'en 1894 pour trouver la seconde application de l'aluminium à la construction des navires de mer.

A la fin de 1893, le Gouvernement français décida d'essayer l'emploi de l'aluminium dans la construction d'un torpilleur de petites dimensions, destiné à être embarqué sur le transport torpilleur *la Foudre*.

Bien que la première application de l'aluminium aux navires de mer ait été exécutée dans un chantier français sous la direction d'un Ingénieur de la marine, cette commande fut, pour certaines raisons, donnée à une maison anglaise.

Le torpilleur en question qui a 19 *m* de longueur, 2,80 *m* de largeur, 1,45 *m* de tirant d'eau et un déplacement de 14 *tx*, n'a qu'un poids de coque de 2 500 *kg*, soit 17,7 0/0 seulement du déplacement. Les tôles d'aluminium employées ont de 1 à 4 *mm* d'épaisseur et l'acier n'entre que pour une faible part dans la construction de la coque.

L'appareil moteur est une machine à triple expansion de 300 *ch*, avec chaudière multitubulaire Yarrow. Son balancement a été étudié avec le plus grand soin, de manière à réduire les vibrations au minimum.

Les résultats des essais démontrent que le but a été complètement atteint, mais l'emploi de l'aluminium entre certainement pour une part dans le succès.

Les vibrations qu'on observe généralement sur les navires paraissent, en effet, dues en grande partie au synchronisme qui existe, pour certaines vitesses, entre les trépidations de la machine et le nombre de vibrations que peut donner la matière composant la coque.

On conçoit donc qu'en employant un métal peu élastique, auquel on est obligé de donner, par suite, une épaisseur relativement plus forte, on arrive, surtout si la machine tourne très vite, comme c'est le cas, à faire disparaître une grande partie des vibrations.

Il faut ajouter que M. A. Normand a réussi, dans ses torpilleurs,

a supprimer presque complètement les vibrations des coques en acier (métal beaucoup plus élastique que l'aluminium) grâce à un système de consolidations qu'il a exposé à l'Association Technique maritime (1).

Il n'est donc pas douteux que par l'emploi de l'aluminium, il n'arrive à obtenir des vitesses au moins comparables à celle du torpilleur Yarrow, sans vibrations appréciables.

L'emploi partiel de l'aluminium dans la construction du torpilleur de 30 nœuds, *le Forban*, qui lui a été commandé par la marine française, rendra les essais de ce bâtiment très intéressants.

A la vitesse de 20,5 nœuds, la machine du torpilleur Yarrow bat 591 tours avec 13 *kg* de pression, un vide de 0,60 et une pression d'air de 43 *mm* d'eau dans la chambre de chauffe. En route libre, la vitesse a atteint 20,558 nœuds, le bateau étant plus léger par suite de la consommation d'une partie du combustible des soutes.

Comme on pouvait s'y attendre, les qualités du torpilleur en aluminium ont été des plus remarquables, grâce à la légèreté de ses extrémités.

Le gain de vitesse dû à l'emploi de l'aluminium a été, dans ce cas, de 3 à 4 nœuds, car un torpilleur en acier de même taille construit pas le Creusot, n'a donné, paraît-il, que 16 nœuds de vitesse, chiffre déjà remarquable, étant données les faibles dimensions de l'embarcation. Aussi cet établissement métallurgique a-t-il mis à l'étude la construction d'un torpilleur de grande taille en aluminium.

Il faut d'ailleurs remarquer que les vitesses relatées plus haut sont celles des essais exécutés en Angleterre avec un personnel choisi fourni par le constructeur et que, bien souvent, on n'a plus retrouvé en service courant pour les torpilleurs fournis par les chantiers étrangers, que des vitesses très inférieures aux vitesses annoncées.

Le torpilleur Yarrow est entièrement construit en aluminium provenant du Valdoie. C'est un alliage à 6 0/0 de cuivre. Sa résistance est de 23,5 *kg* par millimètre carré et son allongement de 7 0/0.

Le succès de cette dernière application fait entrevoir la possibilité d'augmenter, dans des proportions notables, la vitesse des navires de taille moyenne, tels que les avisos-torpilleurs, par l'emploi de l'aluminium sur une grande échelle.

(1) Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France* (avril 1894, pages 401 et suivantes).

Quelques bruits fâcheux ont couru sur l'habitabilité des navires en aluminium, mais ils ne paraissent pas fondés; même en supposant qu'il s'introduise un peu d'eau de mer dans la coque et qu'il se produise des actions galvaniques, l'oxydation serait trop faible pour avoir des inconvénients sérieux. Ce fait a été mis en évidence dans une expérience exécutée par M. Yarrow qui a remplacé sur un voilier deux plaques en cuivre du doublage par deux plaques en bronze d'aluminium. Malgré un long voyage et les actions galvaniques causées par la présence d'une masse considérable de cuivre, les deux plaques n'ont pas été détériorées.

Comme tous les navires métalliques, ceux construits en aluminium ont cependant l'inconvénient de donner lieu à de fortes condensations par les temps humides, mais les précautions usitées en pareil cas ont facilement raison de cet inconvénient qui n'est pas plus prononcé que sur les navires en fer ou en acier.

L'emploi de l'aluminium semble donc à la veille d'entrer dans la pratique courante de la marine, et ses applications s'y développeront sans doute rapidement, surtout si, comme on nous le fait espérer, les alliages de nickel-aluminium viennent donner un métal presque aussi léger que l'aluminium pur, tout en étant plus résistant et plus élastique.

Actuellement, la Pittsburg Reduction Company fabrique des alliages d'aluminium et de titane présentant une résistance de 25 à 30 *kg* par millimètre carré, avec un allongement de 25 à 18 0/0; malheureusement, l'homogénéité du métal laisse, paraît-il, à désirer.

Jusqu'ici, les seuls alliages pratiques paraissent être ceux à base de cuivre.

La proportion de 6 0/0 de cuivre est la plus favorable au point de vue de travail. La résistance est alors de 18 à 20 *kg* et l'allongement de 14 à 16 0/0. Seule, la limite d'élasticité reste assez basse, 12 *kg* dans les cas les plus favorables. Encore s'agit-il d'un métal non écroui car, si l'écrouissage porte la résistance à 25 ou 30 *kg*, l'allongement s'abaisse à 3 ou 4 0/0, sans que la limite d'élasticité subisse de variations sensibles.

La faible valeur de la limite d'élasticité, qui peut faire craindre pour des pièces soumises à une certaine fatigue des déformations permanentes, est un des principaux obstacles à l'extension de l'aluminium. Le tableau ci-dessous indique pour le fer, l'acier dur, l'acier doux et l'aluminium, la résistance, l'allongement et

la limite d'élasticité pour des barreaux de sections inversement proportionnelles aux densités.

	Résistance à la rupture.	Allongement 0/0	Limite d'élasticité.
Fer	30 *kg*	30	15 *kg*
Acier doux.	36	30	20
Acier dur	70	6	25
Bronze d'aluminium à 6 0/0 de cuivre — Recuit	50	15	12
Bronze d'aluminium à 6 0/0 de cuivre — Écroui	72	4	12

La résistance à la rupture indiquée par ce tableau pour le bronze d'aluminium paraît bien élevée, mais il faut noter qu'elle est déduite d'essais exécutés non sur des barreaux de mêmes dimensions que ceux en fer ou en acier, mais de section beaucoup plus considérable.

Il faut aussi remarquer que l'écart entre la charge de rupture et la limite d'élasticité est beaucoup plus grand pour l'aluminium que pour le fer et l'acier. Cet écart permet donc d'adopter sans danger pour l'aluminium un coefficient de sécurité inférieur à celui admis dans la pratique du fer et de l'acier.

A travail égal les dimensions des pièces en aluminium n'ont pas besoin d'être beaucoup plus grandes que s'il s'agissait du fer et de l'acier. On peut avec sécurité les prendre inversement proportionnelles aux limites d'élasticité. Elles devront donc avoir environ 1,25 fois les dimensions de la pièce en fer, 1,6 fois celles de la pièce en acier doux et 2 fois celles de la pièce en acier dur.

Le choix du coefficient de sécurité dépend d'ailleurs entièrement des qualités du métal employé, qualités qui dépendent elles-mêmes de sa pureté. Aussi tous les efforts tendent-ils aujourd'hui à produire un métal plus pur. Il y a quelques années, la proportion des impuretés contenues dans l'aluminium était de 2 à 3 0/0. Elle est aujourd'hui diminuée de près de moitié au grand profit de sa résistance aux agents atmosphériques.

Des essais récents exécutés par M. Besson, Ingénieur de la marine, sur des tôles en aluminium provenant de l'usine de Froges et laminées par la Société des forges de Denain ont donné les chiffres suivants :

Résistance à la rupture par millimètre carré. . .	27 à 30 *kg*
Allongement pour cent	17 à 20

Ces tôles sont donc pratiquement comparables aux tôles de fer

ordinaire, sauf pour la limite d'élasticité qui est toujours un peu plus faible.

Le prix a largement profité des progrès réalisés pendant ces dernières années puisque, de 15 à 16 *f* le kilogramme en 1890, il est descendu à 8 *f*, 7 *f* et même 6 *f* en 1894. A volume égal, il est à peu près le même que celui du bronze. Il est d'ailleurs certain qu'il s'abaissera encore en présence des débouchés nouveaux permettant une production plus considérable.

Comme d'autre part la main-d'œuvre pour les travaux en aluminium est moins coûteuse que pour le fer, la plupart des opérations pouvant se faire à froid (sauf le recuit, très facile), on réalisera de ce côté des économies qui compenseront au moins partiellement la plus-value de la matière première qui conservera d'ailleurs toujours une certaine valeur.

Cette note n'a visé que les applications de l'aluminium aux constructions navales, elle n'a pas parlé des applications déjà réalisées dans les autres industries. C'est ainsi que l'aluminium employé une première fois à la construction de voitures légères destinées au Soudan commence à être aujourd'hui apprécié dans la carrosserie.

Il commence aussi à être employé dans les équipements militaires. Peut-être même sera-t-il bientôt possible de remplacer les douilles en laiton des cartouches par des douilles en aluminium beaucoup plus légères. Enfin le matériel des chemins de fer y trouvera sans doute un élément de légèreté des plus utiles en raison de l'augmentation constante du poids mort à remorquer.

Il semble donc certain que lorsque ce métal, encore tout nouveau dans la pratique, sera mieux connu, ses applications seront de plus en plus nombreuses.

CHEMINS DE FER A VOIE ÉTROITE

DU

CANTON DE GENÈVE

PAR

M. A. MALLET

En dehors des grandes capitales et de leurs environs immédiats, il existe probablement peu de territoires mieux partagés au point de vue des moyens de transport que le canton de Genève. Ce petit État, d'une superficie de 241 km^2, presque exactement la moitié du département de la Seine, compte 107 000 habitants dont 70 000 environ pour la ville même. La population présente donc une densité de 444 habitants par kilomètre carré, densité qui n'est dépassée en France que par le département de la Seine et les arrondissements de Lille, Lyon et Marseille, et il faut dire que, dans le canton de Genève, en dehors de la ville et d'une ou deux localités industrielles, la population est essentiellement agricole. La densité moyenne de la population en Suisse est de 72,5 habitants par kilomètre carré, soit presque exactement la même valeur que pour la France où elle est de 73.

Le canton de Genève est desservi par 115,8 *km* de voies ferrées de tout genre, ce qui donne 10,8 *km* par 10 000 habitants et 48 *km* par 100 km^2. Ce dernier rapport est très élevé, il est de 18,4 pour la Belgique, de 10,4 pour l'Angleterre, de 8,1 pour la Suisse et l'Allemagne et de 7,2 pour la France. Le territoire dont nous nous occupons présente, en outre, 22 *km* en bordure du lac Léman avec dix stations desservies par les bateaux de la Compagnie Générale de Navigation.

Les voies ferrées se subdivisent en lignes à voie normale, tramways et lignes à voie étroite. Les lignes à voie normale comprennent le chemin de fer du Jura-Simplon, ligne de Genève-Cornavin à Lausanne, le chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, ligne de Genève-Cornavin à Lyon et à Paris et l'État de Genève, ligne de Genève-Eaux-Vives à Annemasse; cette dernière ligne est exploitée par le P.-L.-M. Les tramways comprennent la ligne de Carouge à Annemasse qui traverse Genève et la ligne

de la place du Molard à la gare de Cornavin; la première est à traction de chevaux et à traction par locomotives; la seconde à traction de chevaux seulement. Une troisième ligne à traction électrique par conducteur aérien et trolley, allant de Champel au Petit-Sacconnex, a été ouverte ces derniers temps. Ces lignes appartiennent toutes à la Compagnie Générale des Tramways suisses qui possède aussi les tramways de Bienne; leur écartement est à la voie normale. Enfin les chemins de fer à voie étroite (1 *m*) sont formés des lignes de la Société Genevoise de chemins de fer à voie étroite et de celle du Genève-Veyrier.

Voici les longueurs respectives de ces divers éléments :

Voie normale.	Jura-Simplon	11 650 *m*	31 000 *m*
	P.-L-M..	15 350	
	État de Genève. . . .	4 000	
Tramways . .	à vapeur et à chevaux.	10 000	15 500
	Électrique.	5 500	
Voie étroite. .	Société Genevoise . .	63 300	69 300
	Genève-Veyrier. . . .	6 000	
	Total.		115 800 *m*

Les chiffres ci-dessus ne représentent que la partie des lignes établies sur territoire genevois. Ainsi le Jura-Simplon comprend la longueur entre la gare de Genève-Cornavin et la frontière vaudoise, plus la partie sur l'enclave de Celigny, le P.-L.-M., le tronçon de la ligne de Lyon à Genève compris entre la gare de Genève-Cornavin et la limite du département de l'Ain; la ligne qui porte la désignation État de Genève est la partie de la ligne Genève-Eaux-Vives-Annemasse située sur territoire suisse. De même pour les autres lignes. La voie ferrée la plus ancienne est celle du P.-L.-M. qui a été ouverte il y a environ quarante ans, les plus récentes sont les voies étroites qui datent de sept à quatre ans et la ligne des tramways électriques qui n'existe que depuis cet été, comme nous venons de le dire. Les 115 *km* de voies ferrées sont desservis par deux gares principales, Genève-Cornavin et Genève-Eaux-Vives et par près de quatre-vingt-dix stations et haltes, non compris celles des tramways.

Nous nous proposons, dans cette note, de décrire le réseau très complet de chemins de fer à voie étroite (1) qui a été établi dans

(1) D'après leur mode d'établissement qui sera indiqué plus loin, ces lignes seraient, en France, considérées comme des *tramways*.

le canton de Genève, grâce à l'initiative de quelques hommes de progrès.

A la fin de 1886, la Confédération a concédé à MM. Annevelle, Dupont-Buèche, Petit et Tronchet, neuf lignes à voie étroite se dirigeant de Genève sur divers points du canton et dont quelques-unes devaient se prolonger sur le territoire des départements français de l'Ain et de la Haute-Savoie. Huit de ces lignes ont formé le réseau de la Société Genevoise de chemins de fer à voie étroite, la neuvième est restée indépendante, c'est le chemin de fer Genève-Veyrier. Les parties de ces lignes situées sur territoire français ont fait l'objet de concessions régulières de la part des autorités compétentes.

Le réseau de la Société Genevoise de chemins de fer à voie étroite, désignée par abréviation par les initiales V. E., se divise comme suit :

Lignes.	sur Suisse.	sur France.	Total.
1. Genève à Saint-Julien. .	7 993 *m*	1 554 *m*	9 547 *m*
2. — Lancy. . . .	3 393	»	3 393
3. — Chancy . . .	17 165	»	17 165
4. — Saint-Georges.	2 848	»	2 848
5. — Vernier . . .	4 844	»	4 844
6. — Ferney . . .	4 727	1 713	6 440
7. — Douvaine . .	10 996	7 087	18 083
8. — Jussy	11 540	»	11 540
Totaux	63 326 *m*	10 554 *m*	73 860 *m*

Ces lignes sont figurées par un double trait et les numéros correspondants sur le plan général *(fig. 1)* de la planche annexée à cette note *(Pl. 124)*.

On voit que la longueur totale exploitée est de 73 860 *m* (elle figure dans les comptes pour 74 *km*) dont 63 *km* en nombre rond sur territoire suisse et 11 *km* sur territoire français.

Quelques-unes de ces lignes ont des parties communes, ce qui ramène la longueur *construite* à 72,6 *km*; d'autre part, il existe des raccordements de service non parcourus par les trains de l'exploitation et dont un a 1 207 *m* de longueur; le développement total des voies se trouve ainsi atteindre 79 570 *m*, soit 1,095 fois le développement de la longueur construite.

Il y a à Genève trois points de départ, tous en plein cœur de la ville : un au Quai de la Poste pour les lignes 1 à 4, un à la place

des XXII-Cantons, près de la gare de P.-L.-M. et J. S. pour les lignes 5 et 6 et enfin un au Rond-Point de Rive pour les lignes 7 et 8. Disons tout de suite que ces points de départ situés sur des voies publiques spacieuses ne consistent qu'en des voies de service, des bouches d'eau et un kiosque avec bureau et salle d'attente, le tout réduit au strict nécessaire.

Actuellement, l'exploitation se trouve gênée du fait de la division des points de départ et surtout de la séparation complète des lignes 5 et 6 des autres. Ces deux lignes se trouvent, en effet, sur la rive droite du Rhône et il n'existe pas dans la ville de ponts pouvant donner passage à des locomotives (1). Il faut donc pour ces deux lignes un matériel complet, des remises et les accessoires. Cette situation incommode cessera l'année prochaine, du fait de la reconstruction du pont de la Coulouvrenière qui va être établi de façon à livrer passage aux trains de la V.-E., laquelle pourra alors concentrer le point de départ de toutes ses lignes ou tout au moins des six premières à la Place des XXII-Cantons, ou mieux, à la Place de Cornavin, encore plus près de la Gare. En dehors des facilités que cette modification donnera à l'exploitation, il en résultera un grand avantage pour les voyageurs qui pourront passer d'une ligne à l'autre, sans faire aucun trajet extérieur comme cela se pratique actuellement. Le travail très important de la réfection du pont dont nous venons de parler a aussi pour objet le raccordement avec la gare P.-L.-M. et J.-S. des terrains où sera établie l'Exposition nationale de 1896, raccordement qui servira pour les marchandises et éventuellement pour les voyageurs.

La voie est établie sur le territoire suisse sur les routes cantonales dont la longueur varie de 8 à 12 *m*, suivant les classes et où les inclinaisons ne dépassent pas, en général, 60 0/00. Il a fallu, dans plusieurs endroits, soit pour adoucir les rampes, soit pour éviter des passages difficiles, transporter la voie hors de la route; certaines de ces déviations ont été assez importantes. En France, la ligne est établie sur routes nationales ou départementales.

La voie est placée sur un côté de la route, mais sans plate-forme spéciale ni séparation, de sorte qu'aucune partie de la route n'est soustraite à la circulation ordinaire. Le voisinage immédiat des

(1) Les deux traversées du Rhône dans la ville de Genève, qui sont indiquées sur le plan général *(fig. 1)*, ne sont effectuées que par les tramways à traction animale ou à traction électrique (voitures automobiles).

trains et des chevaux, voitures et piétons est d'ailleurs pratiqué depuis longtemps sans inconvénient dans le pays. Les étrangers sont tout d'abord étonnés de rencontrer dans les rues les plus fréquentées de Genève, très étroites par endroits, des trains des tramways comportant jusqu'à trois voitures et traînés par une locomotive. Les jours de marché on voit ces trains circuler au milieu d'une foule de marchandes en plein-vent et d'acheteurs formant une réunion compacte; cette foule se range à l'appel du cornet du tram et se reforme derrière la dernière voiture du train et cela quinze ou vingt fois pendant la durée du marché, et tout est dit. Il y a vingt ans que ce système est pratiqué et les accidents sont inconnus. Il peut arriver, comme partout, que des personnes se blessent plus ou moins grièvement en voulant descendre des voitures ou y monter pendant la marche, mais c'est là une autre question qui n'a rien à voir avec celle qui nous occupe.

Il y a sur les lignes de la V.-E. environ soixante-dix stations, plus des arrêts facultatifs. Ces stations ne comportent pas, sauf aux terminus, de local spécial, il n'y a qu'un poteau indicateur avec le nom de l'endroit; les arrêts facultatifs sont de même indiqués par une plaque; on a également mis à chaque rencontre de chemins et en général tout endroit pouvant présenter quelque danger, des écriteaux portant en grosses lettres l'inscription « Attention au train ».

Voici comment se répartissent les inclinaisons :

13 537 *m*	en palier.		
11 341	avec déclivité de	0 à	5
11 965	—	5	10
8 334	—	10	15
7 905	—	15	20
4 649	—	20	25
4 491	—	25	30
11 638	— au dessus de 30.		

La longueur totale présente donc 18,33 0/0 de paliers, 81,67 de déclivités, et il y a environ 16 0/0 du parcours en déclivités supérieures à 30 0/00. L'inclinaison maxima est de 60 0/00, mais ces rampes ne sont pas longues; toutefois, comme dans certains cas elles se combinent avec des courbes de faible rayon, elles apportent une gêne sérieuse à l'exploitation, aussi a-t-on adouci ces rampes par des rectifications des routes, sauf à des parties où la charge des trains n'est jamais bien considérable.

Les courbes se répartissent comme suit :

59 590 *m* en alignement droit;
5 163 en courbes de plus de 200 *m* de rayon;
9 107 — de moins de 200 *m* de rayon.

Les proportions sont donc 80,7 0/0 d'alignement, 7 0/0 de courbes de 200 *m* et 12,3 0/0 de courbes de moins de 200 *m*. Le rayon moyen de la partie en courbes est de 75 *m* et le rayon minimum de 35 *m*, mais ce dernier n'existe que dans les croisements et voies de garage et le rayon dans la voie courante ne descend guère à moins de 45 *m*.

La voie, à l'écartement de 1 *m* entre les champignons des rails, est en grande majorité établie en rails Vignoles posés sur traverses en bois sans contre-rails. Ces rails d'acier, provenant des usines de Bessèges, pèsent 20,2 *kg* par mètre courant; ils sont fixés par des tirefonds et éclissés. Sur 79 570 *m* de voie, il y a 60 450 *m* de voie de ce système et 19 120 *m* de voie entièrement métallique du système Demerbe ; cette dernière est réservée pour les parties situées dans les villes de Genève et de Carouge et pour la traversée de villages.

Pour terminer ce qui a rapport à la voie, nous dirons qu'on a établi au point de bifurcation de deux des lignes, celles de Saint-Julien et de Lancy, une installation importante, comprenant bureaux, dépôt de machines et remises de voitures, magasins et ateliers de réparation. Un dépôt avec remise, mais beaucoup moins important, est établi sur le chemin de Ferney pour le matériel des lignes de la rive droite du Rhône.

Le matériel de traction comprend vingt-deux locomotives fournies par la Société suisse pour la construction de locomotives et de machines à Winterthur, et toutes du même modèle. Ces locomotives, d'un type bien connu, sont à six roues couplées et à commande par balancier ; elles fonctionnent dans les deux sens sans retournement et peuvent être conduites de l'avant ou de l'arrière, le personnel peut aussi circuler tout autour. Elles ont un abri qui règne sur toute la longueur et le mécanisme est entièrement caché par des panneaux qui se soulèvent et se rabattent à volonté.

Voici les dimensions principales de ces machines dont la figure 2 reproduit la disposition générale.

Surface de grille	0,45 m^2
— de chauffe directe	2,70
— — tubulaire	23,30
— — totale	25,00
Timbre de la chaudière	14 *kg*
Longueur des tubes	1 533 *m*
Nombre de tubes	125
Diamètre des cylindres	0,240 *mm*
Course des pistons	0,350
Diamètre des roues	0,740
Écartement des essieux extrêmes	1,800
Capacité des caisses à eau	1,600 *kg*
— des soutes à combustible	400 *kg*
Longueur de la machine	5,690 *m*
Hauteur de la cheminée au-dessus du rail . . .	3,400
Poids à vide	13,400 *kg*
Poids adhérent minimum	14,230
— — maximum	16,230
Vitesse maxima autorisée	25 *km*

L'attelage se fait par une tige centrale terminée par des entonnoirs où s'introduit une broche qu'on fixe par une clavette, il n'y a pas de tampons.

Les machines ont des indicateurs de vitesse, des sablières et sont munies du frein à vide non automatique, lequel agit aussi sur les voitures; elles portent également des trompes d'avertissement à pompe.

On brûle sur les locomotives du coke dans la ville et des briquettes de Saint-Étienne dans la campagne. On ne condense pas la vapeur, mais l'échappement est disposé de manière à ne pas faire de bruit. Cette précaution est parfaitement suffisante, comme on a pu le constater avec les locomotives des tramways qui circulent depuis vingt ans dans les rues de Genève sans donner lieu à aucun inconvénient sérieux.

Le matériel de transport comprend 57 voitures à voyageurs dont 7 ont un compartiment formant fourgon. Ces voitures sont à plate-forme aux deux extrémités, banquettes transversales avec passage au milieu, laissant deux places d'un côté et une de l'autre.

Les voitures ordinaires *(fig. 3)* ont vingt-quatre places assises et douze sur les plates-formes, total trente-six places; elles pèsent

4 000 *kg* ce qui donne 111 *kg* par place. Les voitures à fourgon pèsent 4 200 *kg* pour trente-et-une places, dont vingt-trois assises, soit 139 *kg* par place ; il est vrai qu'on peut, en cas de besoin, placer cinq voyageurs dans le fourgon, lesquels peuvent s'asseoir sur des banquettes mobiles qu'on relève contre la paroi de la voiture. Il n'y a qu'une seule classe; les sièges sont en feuilles minces de bois perforées. Le chauffage se fait par des tuyaux placés le long des parois latérales et alimentés par de la vapeur prise sur la chaudière de la locomotive et détendue ; l'éclairage se fait au pétrole.

Ces voitures ont 8 *m* de longueur, elles sont à deux essieux écartés de 2 40 *m*; le châssis est en fer. Elles portent, comme nous l'avons indiqué, le frein continu à vide et le frein peut en outre être manœuvré à la main depuis les plates-formes. La figure 3 en donne la disposition générale en plan et en élévation.

Il y a en plus huit wagons à marchandises pesant de 2 800 à 3 580 *kg* et pouvant porter 5 000 *kg*; les caisses de ces wagons ont de 4 450 *m* à 4 600 *m* de longueur ; il y en a quatre ouverts et quatre couverts; ils servent principalement au transport du combustible pour le service de la Compagnie; il y a également trois wagonnets pour le transport du lait qui a pris une certaine importance depuis l'établissement de la V. E. Ces wagonnets pèsent 1 500 *kg* et peuvent porter 2 500 *kg*.

Tout le matériel roulant a été fourni par la Société industrielle Suisse, à Neuhausen, sauf les wagonnets dont nous venons de parler, qui ont été construits dans les ateliers de la V. E.

Il y a sur les machines deux hommes, un mécanicien et un chauffeur ; la présence de deux hommes est d'autant plus nécessaire que, par mesure de police, le chauffeur doit descendre de la machine et la précéder à pied dans les courbes dont on ne peut voir l'extrémité, jusqu'à ce qu'il aperçoive la fin de la courbe.

Il y a sur les trains de un à deux conducteurs suivant la composition des trains et l'affluence des voyageurs, la perception se faisant dans les voitures. Il y a de deux à quatre voitures par train selon les jours et heures et aussi suivant le profil de la ligne.

Les conducteurs perçoivent le prix des places et donnent des coupons de 0,10 *f*, 0,15 *f*, 0,20 *f*. etc., détachés de bandes perforées en échange des mêmes valeurs que les voyageurs payent en argent ou en coupons achetés d'avance avec réduction de 25 0/0 pour un chiffre minimum de 10 *f*. Les billets d'aller et retour qui

comportent également une réduction de 25 0/0, ne sont pas délivrés par les conducteurs, mais seulement aux bureaux de départ ou dans des établissements publics (cafés, etc.), désignés à cet effet et faciles à reconnaître par un avis affiché. Il est en outre délivré pour des parcours déterminés des cartes d'abonnement, soit générales, soit restreintes. Ces dernières sont spécialement destinées aux élèves qui suivent les cours des collèges et écoles de la ville et auxquels elles donnent, moyennant un prix très minime, le droit de faire quatre parcours déterminés par jour de semaine dans certaines limites d'heures. Les bases du tarif plein sont calculées à raison de 0,08 *f* à 0,09 *f* par kilomètre.

Ces facilités ainsi que la commodité de ces moyens de transport en ont rapidement déterminé l'adoption par la population. Une conséquence curieuse de leur établissement est le fait que des personnes qui passaient l'hiver à la ville et l'été à la campagne ont renoncé complètement à habiter la première, pouvant s'y rendre rapidement et économiquement pour leurs affaires, sûrs de trouver toujours de la place dans des voitures commodes et bien chauffées, avantage très apprécié dans un climat assez rude, où les routes sont généralement mauvaises en hiver. Les dimanches et fêtes, la possibilité de transporter des masses de voyageurs est inappréciable, surtout si on tient compte des habitudes libérales et de l'absence de réglementation à outrance, grâce auxquelles on peut mettre, en cas de presse, dans les voitures autant de monde et on serait, quand on l'a vu, tenté de dire, plus de monde qu'il n'en peut tenir matériellement.

C'est ainsi qu'on transporte quelquefois soixante voyageurs et plus dans des voitures de trente-six places. Une tolérance mutuelle, qui est dans les habitudes du pays, fait passer facilement sur ces petits inconvénients et on supporte avec patience de la part de ses voisins une gêne momentanée qu'on se trouve en droit de leur imposer à son tour.

Les lignes de la V. E. ont en général de treize à quinze trains par jour dans chaque sens, soit un par heure, avec des trains supplémentaires les dimanches, jours de fêtes et quelquefois les jours de marché. Sur certaines lignes, les exigences de la réglementation fédérale sur la durée du travail des employés de chemins de fer ont obligé, pour ne pas avoir de double équipe, à supprimer un ou deux trains dans la journée.

La vitesse maxima est de 25 *km* à l'heure, la vitesse de marche moyenne est de 10 à 15 *km* à l'heure suivant les lignes. Ainsi l'ho-

raire indique quarante-cinq minutes pour la durée du trajet de Genève à Saint-Julien, distance 9 1/2 *km*, ce qui donne 12 1/2 *km* à l'heure, y compris les arrêts dont il y a une dizaine ; de Genève à Douvaine on met une heure quinze pour faire 18 *km*, c'est une vitesse de 14 1/2 *km*. On va de Genève à Lancy, distance 3 400 *m*, en vingt minutes, soit une vitesse de 10,2 *km*. Cela dépend du nombre d'arrêts intermédiaires, du profil et de diverses autres circonstances.

Le personnel comprend 135 employés de tout genre, dont 67 pour le matériel et la traction.

A la tête se trouve un directeur et un chef de traction. Cela fait en moyenne un peu moins de 2 employés par kilomètre de ligne. La dépense d'établissement peut être évaluée à 6,5 millions de francs en nombres ronds, ce qui, pour 72,6 *km*, donne un prix de revient kilométrique rond de 90 000 *f*. Ce chiffre peut paraître élevé à première vue pour des lignes établies sur routes, mais il faut considérer qu'il a dû être pratiqué des déviations importantes sur des points où les terrains étaient d'un prix élevé et différents travaux de sujétion.

Il ne faut pas oublier qu'en France même, la moyenne du prix kilométrique de tramways analogues, c'est-à-dire établis dans des banlieues de grandes villes, est beaucoup plus élevée. Si, dans la liste donnée par le *Journal Officiel* du 4 juillet 1894, on examine les prix de revient kilométriques des tramways Nogentais, de Valenciennes, Lille et extensions, Saint-Étienne, Bayonne à Biarritz, Paris à Lonjumeau et Paris à Saint-Germain, on trouve des chiffres qui atteignent souvent le double, et quelquefois plus, de celui que nous avons indiqué ci-dessus. Dans le prix kilométrique de 90 000 *f* le matériel roulant entre pour 12 000 *f*.

Les lignes de la V. E. ont été construites sans subvention ni garantie d'intérêts. A l'origine, l'État de Genève avait offert aux concessionnaires une garantie d'intérêt de 3 0/0 sur le capital d'établissement. Mais cette garantie entraînait des conditions et des sujétions en présence desquelles les concessionnaires ont préféré décliner la garantie pour conserver leur pleine liberté.

Voici quelques chiffres relatifs aux résultats d'exploitation pour le dernier exercice 1893.

Les recettes totales se sont élevées à 499 567 *f* soit 500 000 *f* en nombres ronds et se répartissent comme suit : voyageurs 480 073 ; bagages 7 059 ; marchandises 9 584 et recettes diverses

2 851. C'est donc 6 881 *f* par kilomètre construit avec une proportion de 96, 10 0/0 pour les voyageurs.

La répartition par mois est intéressante à connaître, nous la donnons ci-dessous :

Janvier	32 436 *f*	Juillet	47 119 *f*
Février	28 326	Août.	52 249
Mars	35 167	Septembre . . .	54 790
Avril	45 350	Octobre	49 813
Mai.	46 411	Novembre . . .	33 511
Juin	44 178	Décembre. . . .	30 217

On voit que, si on écarte le mois de septembre auquel la fête du *Jeûne Fédéral* assure toujours une recette exceptionnelle, les produits bruts par jour oscillent entre les limites de 975 *f* pour décembre et 1 685 *f* pour août, soit 13,44 et 23,21 *f* par jour et kilomètre construit.

Le nombre total de voyageurs transporté a été de 1 489 706 soit 4 081 par jour en moyenne ; pour le mois de septembre, cette moyenne a atteint 5 490.

Le nombre de kilomètres de trains a été de 450 896, soit 1 235 par jour avec une moyenne de 2,2 voitures par train.

Il y a eu en moyenne 16,7 voyageurs par train pour 79 places offertes, soit une proportion de 21 0/0. La recette moyenne par voyageur a été de 0,322 pour un parcours kilométrique moyen de 5 *km*, soit un prix bien inférieur au tarif normal par suite de l'emploi des billets de retour, abonnements, etc.

Les dépenses totales de l'exploitation ont été, pour le même exercice 1893, de 387 102 *f*, soit 5 332 *f* par kilomètre construit et 77 5 0/0 des recettes brutes. Ces dépenses représentent 0,858 *f* par kilomètre de train. Elles se subdivisent comme suit :

I. Administration générale.	0,0524 *f*	soit 6,11	0/0
II Entretien et surveillance de la voie .	0,0875 »	10,20	»
III. Expédition et Mouvement.	0,1334 »	15,55	»
IV. Matériel et Traction	0,5022 »	58,53	»
V. Dépenses diverses	0,0825 »	9,61	»
TOTAL.	0,8580 »	100,00	0/0

Voici enfin le détail des dépenses du service du Matériel et de la Traction qui sont les plus intéressantes :

A. — Personnel.			
1. Personnel de bureau . . .	7 405,25 *f*		
2. Personnel des machines. .	70 378,20	90 758,50	0,201
3. Personnel pour nettoyage, alimentation, etc. . . .	12 975,05		
B. — Matières.			
1. Combustible	87 318,90		
2. Suif et graisse	6 412,10	99 936,15	0,221
3. Eclairage, nettoyage, sable, eau	6 205,15		
C. — Entretien et renouvellement du matériel roulant.			
1. Machines.	25 539,80	32 556,45	0,072
2. Voitures et wagons	7 016,65		
D. — Dépenses diverses.	3 315,30	3 315,30	0,008
Total		226 566.40	0,502

Le personnel des machines donne lieu à une dépense de 0,156 *f* par train kilomètre et le combustible 0,193 *f*. Le premier chiffre doit être considéré comme surélevé dans une mesure assez large du fait des réglementations fédérales sur la durée du travail des employés de chemins de fer; quant au second, si on compte le combustible au taux moyen de 30 *f* la tonne, c'est une dépense de 6.5 *kg* par kilomètre qui n'a rien d'extraordinaire. La dépense de traction de 0,502 *f* par kilomètre pour 2,2 voitures par train donne 0,23 *f* par voiture kilomètre, chiffre qui peut soutenir la comparaison avec n'importe quel mode de traction, si on tient compte de la nature des lignes de la V. E., de leur profil et de leur mode d'exploitation avec arrêts très fréquents. (On sait que l'usage du frein à vide simple ou automatique donne lieu à une dépense de vapeur beaucoup plus importante qu'on ne le croit généralement et que quelques expériences permettent de fixer, même pour la voie étroite, à 1 *kg* et plus de combustible par kilomètre de train).

La dépense de combustible revient en poids à 3 *kg* par voiture-kilomètre et la dépense en argent à 0,0025 *f* par place offerte et 0,011 *f* par voyageur transporté et par kilomètre.

Le produit net par kilomètre construit ressort à 1 549 *f* ce qui, pour un prix d'établissement de 90 000 *f* ressort seulement à 1,72 0/0. Ce taux est évidemment peu rémunérateur; il s'explique

par la nature même du réseau formé de lignes ayant une fréquentation très différente et dont les plus longues n'ont qu'une partie actuellement productive. Mais la situation va en s'améliorant d'une manière continue. En 1892, le produit brut était de 6 249 *f* et les dépenses de 5 349 *f* par kilomètre. En 1893, par rapport à l'année précédente, les recettes ont augmenté de 10 0/0, mais comme les dépenses ont été notablement inférieures, le produit net s'est trouvé accru dans l'énorme proportion de 900 à 1 549 *f* soit 72 0/0. Avec la nouvelle réduction de dépenses qu'on peut espérer voir résulter de la concentration des services dont nous avons parlé plus haut et l'accroissement de trafic continu qu'on constate (1) et qui augmentera beaucoup à l'occasion de l'Exposition nationale de 1896, on peut admettre que les capitaux engagés dans cette utile entreprise seront bientôt appelés à recevoir leur légitime rémunération.

On ne saurait omettre parmi ces éléments d'amélioration, la perspective d'un trafic sérieux de marchandises, que fait entrevoir le raccordement des lignes des deux rives du Rhône, et l'emploi de transporteurs pour les wagons de la voie normale. A ce propos, nous rappellerons qu'au printemps de cette année, le peuple genevois a été appelé à se prononcer sur un projet de raccordement à voie normale, entre les quartiers industriels du voisinage de la ville, et la gare P.-L.-M. et J.-S. La votation populaire a rejeté, à une très forte majorité, ce projet qui était très coûteux, et que ses adversaires avaient montré pouvoir être remplacé à très peu de frais par les lignes déjà existantes de la V. E., avec usage de transporteurs, pour y faire circuler les wagons de la voie normale et les amener jusqu'aux usines et magasins.

Nous compléterons cette note par quelques renseignements sur le chemin de fer Genève-Veyrier, en abrégé G. V.

Cette ligne est la première établie à voie étroite dans le canton de Genève; elle est du même type que les précédentes, mais est dans une situation financière meilleure par suite de son indépendance et du trafic élevé qu'elle doit à sa position exceptionnellement avantageuse. Ce chemin part à Genève du Rond-Point de Rive, à côté du terminus des lignes 7 et 8 de la V. E.; il a 6 000 *m* de développement sur le territoire suisse jusqu'à Veyrier et exploite un prolongement de 4 700 *m* sur territoire français entre Veyrier et Collonges; il se relie, à la première de ces deux loca-

(1) Les recettes des huit premiers mois de 1894 étaient de 339 228 *f* contre 331 236 *f* pour la période correspondante de 1893.

lités, à la ligne Veyrier-Monnetier des chemins de fer électriques et à crémaillère du Salève, ouverte à la fin de l'année dernière.

Le G. V. possède 4 locomotives et 12 voitures à voyageurs des mêmes modèles que les précédentes. Le mode d'établissement et l'exploitation sont les mêmes que pour la V. E.

Les dépenses de construction se sont élevées à 523 000 *f* ce qui, pour 6 *km* fait 87 000 *f* par kilomètre, soit presque exactement le prix des lignes de la V. E. En 1893, le produit brut kilométrique a été de 12 830 *f*, soit 1,28 *f* par kilomètre de train et les dépenses correspondantes à 8 322 et 0,83 *f* soit 64,85 0/0 des recettes brutes.

Le produit net ressortirait donc à 4 500 *f* par kilomètre, c'est-à-dire à 5 0/0 du capital d'établissement. Le trafic parait avoir augmenté cette année, très probablement par suite de l'ouverture de la partie en correspondance des chemins de fer du Salève comme nous l'avons indiqué plus haut, car les recettes des huit premiers mois de 1894 étaient de 15 000 *f* en excès sur les recettes de la même période de 1893. En effet, la ligne de Genève à Veyrier forme la voie de communication la plus courte entre la ville et cette montagne si fréquentée des Genevois.

Les dépenses de traction doivent être à peu près les mêmes que pour la V. E.; nous disons doivent être, car il n'est pas facile de les connaître exactement pour la partie suisse. Les dépenses d'exploitation sont réduites d'une somme de 11 000 *f* environ payée par la ligne de Veyrier à Collonges, mais on ne sait quelle partie de cette somme affecter aux frais de traction qui eux se rapportent au service total des parties suisse et française.

D'après les statistiques françaises du Ministère des Travaux publics, la ligne de Veyrier à Collonges aurait coûté 150 000 *f* soit 32 000 *f* par kilomètre (elle est entièrement sur route) et elle aurait fait en 1893 une recette brute de 11 374 *f* contre 13 758 *f* de dépenses, soit un déficit de 2 384 *f*.

Nous ne saurions terminer sans constater l'excellent accueil que nous avons reçu des Administrations des lignes dont nous venons de parler et sans remercier tout particulièrement M. l'Ingénieur F. Reverdin, Directeur de la Société Genevoise de chemins de fer à voie étroite, qui a mis l'empressement le plus aimable à nous fournir les renseignements dont nous avions besoin pour mener ce petit travail à bonne fin.

SÉISMES ET VOLCANS

PAR

L. DE LONGRAIRE

INTRODUCTION

La présente étude s'occupe d'abord des séismes ou tremblements de terre.

Les questions qui se rapportent à un tel sujet sont d'une actualité poignante. Il ne se passe pas de semaine sans que les journaux ne contiennent l'annonce de quelque désastre.

Les préoccupations suscitées par toutes ces catastrophes sont venues réveiller l'attention pour tout ce qui les concerne. *M. Stanislas Meunier* a inséré dans la *Revue Scientifique* du 23 juin dernier, un article où il a résumé ses idées à ce sujet. *M. Casalonga* lui a répondu dans sa *Chronique industrielle* du 1er et du 22 juillet. M. *Fouqué*, de l'Académie des Sciences, a entretenu de ces questions les lecteurs de la *Vie contemporaine* du 1er septembre. C'est un devoir, semble-t-il, pour ceux qui ont réfléchi sur elles, de faire connaître leurs impressions.

Cette étude débute par une première partie exposant *l'État actuel de la séismologie*. La seconde partie intitulée : *Observations et critiques sur les faits qui précèdent*, fait voir que, malgré des travaux très sérieux, on est conduit à abandonner les théories qui ont régné jusqu'ici ; j'y cherche ensuite à dégager les circonstances caractéristiques de divers séismes.

Des considérations sur la stabilité des terrains superficiels de l'écorce terrestre forment la troisième et dernière partie, et contiennent les conclusions relatives aux tremblements de terre.

Ce qui concerne les volcans est très bref, et n'a d'autre but que de montrer l'utilité que présenteraient des recherches souterraines effectuées sur des volcans éteints.

I. SÉISMES

PREMIÈRE PARTIE

ÉTAT ACTUEL DE LA SÉISMOLOGIE

PREMIÈRE SECTION

DÉFINITIONS

§ 1. — Définissons d'abord l'objet de nos recherches.

Le mot *séisme* est nouveau, il est simplement un synonyme et une abréviation de l'expression un peu longue : *tremblement de terre*. Il comporte cependant une certaine extension, car le tremblement de terre est défini par des secousses qui ébranlent violemment la terre, tandis que le séisme comprend d'une manière générale tout ébranlement, qu'il soit violent, faible ou même perceptible seulement par les instruments les plus perfectionnés : mais alors il prendra le nom de microséisme.

La cause des séismes est à étudier dans une complète liberté. Certains auteurs, dans le but de préciser la tâche désignée à la science, estiment nécessaire de déclarer que cette cause *doit avoir* son siège sous la surface terrestre. Nous ne saurions admettre cette restriction qui est contraire à l'indépendance que nous réclamons dans cette étude, d'où nous voulons bannir toute idée préconçue.

§ 2. — Le mot *tremblement de terre* se dit en grec *seismos*, en latin *terræ motus*, en italien *tremuoto* ou mieux *terremoto*, en espagnol également *terremoto*, en anglais *earthquake*, en allemand *erdleben*, et en japonais *jishin*.

Depuis qu'on étudie ce phénomène d'une façon scientifique, on a créé un vocabulaire spécial sur lequel je vais donner quelques indications : elles m'obligeront à citer divers auteurs que je supposerai connus, mais dans les paragraphes suivants, je fournirai sur leurs ouvrages des renseignements détaillés.

J'ai déjà défini le mot *séisme* qui vient du grec : il en est résulté la science appelée *séismologie*, l'adjectif *séismique* et d'autres dérivés tels que *séismographe* ou *séismomètre*.

On dit aussi *sismologie* et *sismique*, comme font les Italiens qui ont adopté les formes *sismologia* et *sismico* : les ouvrages de MM. Fouqué et de Lapparent montrent que le mot séisme et ses dérivés prévalent en France. Ils ont le réel avantage de concorder avec ceux employés en Angleterre (*seism*, *seismology*, *seismic*).

M. Milne, auteur anglais, qualifie le mot *seism*, d'*awkward* (disgracieux) ; quoique provenant du grec, il mérite en effet cette qualification ; mais il est court et de plus, commode parce qu'il donne lieu d'une manière simple à de nombreux dérivés.

La plupart, sinon la totalité des séismologues, admet que la cause des secousses qu'ils étudient se trouve dans un foyer souterrain situé à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 30 *km* et même 60 *km* à partir de la surface de la terre. Ce foyer est appelé *centre d'ébranlement*, ou simplement *centre* ; en anglais il se dit, *centrum*, *focus*, *focal cavity* ; en italien *focolare sismico*.

La verticale menée par ce centre vient rencontrer la surface de la terre en un point appelé *épicentre* (anglais *epicentrum*) ; mais le foyer n'est pas réduit à un point mathématique, il occupe une certaine étendue ; il en est de même de l'épicentre, de sorte que ce mot correspond plutôt à la surface où se trouve le maximum des désastres.

Cette surface pouvant être assez vaste, devient alors la surface ou zone épicentrale. M. Milne la dénomme aussi *aire méizoséismique* (meizoseismic area).

La considération du centre et de l'épicentre d'un séisme est fort importante dans la science actuelle : « L'épicentre, dit M. Fouqué, est à la surface du sol, l'image de ce qu'est le centre d'activité séismique dans les profondeurs ; localisé, quand celui-ci est restreint ; allongé, quand le lieu où siège la cause de l'ébranlement est une cassure aplatie de l'écorce terrestre : fixe, quand le foyer souterrain se maintient au même point ; mobile avec lui quand il se déplace, et tout cela en rapport avec la constitution géologique de la région qui est le théâtre du séisme. »

Les secousses, dans un tel système, se transmettraient du centre à l'épicentre par des *ondes* (anglais *wave*).

Les mêmes secousses s'affaiblissent au fur et à mesure qu'on s'écarte de la zone épicentrale. On peut chercher à caractériser leur intensité, de manière à les désigner par des numéros qu'on

reporte sur une carte pour y tracer des courbes d'égale intensité dites *isoséistes* (anglais *isoseismic*, ou *coseismic*, italien *isosiste)* qui, théoriquement, répondraient à des ondes d'égal effet mécanique partant du centre d'ébranlement.

Les savants suisses et italiens, représentés par MM. Forel et de Rossi, se sont mis d'accord sur l'adoption de l'échelle suivante que j'extrais de l'ouvrage de M. Fouqué, page 22 :

N° 1. *Secousse microséismique :* Notée par un seul séismographe ou par des appareils de même modèle, mais ne mettant pas en mouvement les systèmes différents ; secousse constatée par un observateur exercé.

N° 2. *Secousse extrêmement faible :* Enregistrée par des appareils de systèmes différents, constatée par un petit nombre de personnes au repos.

N° 3. *Secousse très faible :* Constatée par plusieurs personnes au repos ; assez forte pour que la durée ou la direction puissent être appréciées.

N° 4. *Secousse faible :* Constatée par l'homme en activité, ébranlement des objets mobiliers, des portes, des fenêtres, craquement des planchers.

N° 5. *Secousse d'intensité moyenne :* Constatée généralement par toute la population ; ébranlement des objets mobiliers, meubles et lits, tintement de quelques sonnettes.

N° 6. *Secousse forte :* Réveil général des dormeurs; tintement général des sonnettes, oscillation des lustres, arrêt des pendules; ébranlement apparent des arbres et arbustes. Quelques personnes effrayées sortent des habitations.

N° 7. *Secousse assez forte :* Renversement d'objets mobiliers; chute de plâtras; tintement des cloches ; épouvante générale ans dommage aux édifices.

N° 8. *Secousse très forte :* Chute des cheminées; lézardes aux murs des édifices.

N° 9. *Secousse extrêmement forte :* Destruction partielle ou totale de quelques édifices.

N° 10. *Secousse d'intensité extrême :* Grands désastres, ruines, bouleversement des couches terrestres ; fentes à l'écorce de la terre, éboulement des montagnes.

Des appareils assez variés ont été imaginés pour mesurer les séismes : on les a appelés *séismomètres* ou, quand il s'agit de petits mouvements, *tromomètres*, du mot grec *tromos*, frémissement. Lorsqu'ils sont disposés pour enregistrer eux-mêmes leurs indications, ils deviennent des *séismographes*.

Il faut toutefois noter que dans l'étendue d'un séisme, et même tout près des parties les plus fortement endommagées, il peut exister des surfaces restées indemnes, parce qu'elles ont été soumises à des vibrations sans effet nuisible : on a donné à ces surfaces le nom d'*arches* ou de *ponts*, d'après les savants anglais qui les appellent *arches* ou *bridges*, comme si les séismes provenaient d'une masse liquide en mouvement, devenant le foyer des secousses en certains points, puis passant sous des obstacles naturels semblables à des *ponts* qui s'opposent à ces secousses, pour agir plus loin, lorsque la masse liquide les a dépassées. Cette comparaison pouvant être inexacte, les mots correspondants sont assez malheureusement choisis.

§ 3. — La plupart des théories séismiques reposent sur l'existence d'un noyau central de la terre à une très haute température, voire même à l'état liquide. La distribution de la chaleur à l'intérieur de la terre joue un grand rôle dans ces mêmes théories. La partie de la Géologie qui étudie cette question a reçu le nom de *Géothermique*.

L'expérience prouve qu'il existe dans chaque pays une certaine épaisseur de terrain qui subit l'influence de la température extérieure : à partir du niveau où cesse cette influence, la température augmente. On a donné le nom de *degré géothermique* à la profondeur qui correspond à un accroissement d'un degré.

Dans la Géothermique actuelle, on enseigne généralement que le degré géothermique est constant, et qu'il est égal à 30 *m* environ pour un degré centigrade. C'est un chiffre approximatif ; on adopte parfois un accroissement de 3° c. pour 100 *m*.

Pour les Anglais, le degré géothermique correspond à un degré Fahrenheit ; il est égal à 50 ou 60 pieds anglais, ce qui équivaut sensiblement à un accroissement d'un degré centigrade pour 27 ou 33 *m*. La moyenne est la même qu'en France.

DEUXIÈME SECTION

HISTORIQUE DES THÉORIES SÉISMIQUES

CHAPITRE PREMIER

Données générales.

§ 4. — Je vais exposer à grands traits les diverses phases par lesquelles ont passé les études relatives aux tremblements de terre.

Avant d'y procéder, il convient de faire connaître les conditions dans lesquelles s'effectuent ces grands phénomènes d'après les récits que nous possédons, mais en relatant seulement les faits généraux.

Tout se réduit à dire que le sol est affecté de mouvements violents, fort malaisés à définir, et qui amènent dans les villes l'effondrement partiel ou total des édifices et des maisons existantes. Quelques secondes suffisent pour réduire la partie atteinte en un amas de ruines recouvrant des morts et des blessés.

Dans la campagne, les hommes sont jetés à terre, des crevasses s'ouvrent et parfois les engloutissent; il se produit des déformations permanentes du sol.

C'est à bon droit le phénomène qui excite le plus de terreur chez les hommes et les animaux. Dans les villes atteintes, il n'y a aucun moyen de se sauver : une bonne partie des habitants est tuée sur le coup, ou ne tarde pas à expirer; d'autres, ensevelis sous les décombres, qu'ils aient ou non des membres écrasés, doivent souvent subir une mort certaine où la soif et la faim s'ajouteront aux tortures physiques ainsi qu'aux souffrances morales résultant de telles catastrophes, car en de tels cas, il faudrait une armée de sauveteurs et d'infirmiers pour secourir à temps une ville détruite, — il faudrait aussi un service de pompes pour éteindre les incendies causés par les matières inflammables, et de plus une police pour réprimer le brigandage du rebut de la société. Quant à ceux qui ont pu échapper à de tels dangers, il ne reste à la plupart que la misère et le souvenir amer de ceux qu'ils ont perdus.

Le nombre des morts pour un seul tremblement de terre se chiffre par dizaines de mille, dans les cas les plus graves.

Les animaux sont plus sensibles que les hommes aux indices précurseurs souvent très faibles, de tels cataclysmes : certains de leurs sens bien plus développés que les nôtres expliquent facilement ce phénomène. Les coqs, les poules, les oies poussent des cris, les chiens hurlent, les chevaux cherchent à s'enfuir, les insectes sortent de terre, et les oiseaux volent avec inquiétude.

Quant au détail de ce qui se passe pendant les secousses elles-mêmes, il convient d'une manière générale d'accepter avec une grande réserve les récits qu'on en fait, car personne n'a le sang-froid de se livrer à des observations précises. La crédulité humaine a d'ailleurs dépassé toute limite jusqu'au XVIIe siècle : ce n'est qu'à partir du XVIIIe siècle qu'on peut accorder quelque crédit aux narrateurs. Aujourd'hui même tout ce qui se dit ou s'imprime ne saurait être accepté sans un rigoureux contrôle.

Les livres traitant des tremblements de terre, parlent de mouvements faisant bondir verticalement les objets qui sont à terre : des cadavres auraient été lancés sur une colline de plus de 100 pieds de haut : c'est ce qu'on appelle des *succussions* (du verbe latin *succutere*) ou des mouvements *subsultoires* (anglais *succussatore*, italien *sussultore*) ; des arbres auraient touché le sol avec leur cime. On va même jusqu'à parler de mouvements rotatoires (anglais et italien, *moti vorticosi*). Ces faits sont bien étranges; mentionnés isolément, ils ne sauraient que donner des idées fausses. Pour les admettre, il faut qu'ils soient accompagnés du récit complet de la catastrophe, avec tous les détails ou éclaircissements que comporte la science actuelle.

Par contre, les effets permanents qui subsistent après les tremblements de terre, sont indéniables; ce sont : la ruine de villes entières déjà indiquée ; — le bouleversement de grandes étendues de terrain, avec fissures, soulèvements incontestables et affaissements également certains, mais peu considérables relativement au relief des couches terrestres; — la modification profonde du régime des eaux, comme sources taries ou nouvelles, rivières desséchées, lacs formés, nappe d'eau des puits changée de niveau ; — les pendules ou horloges arrêtées, les objets simplement posés sur des appuis, déviés ou jetés par terre.

Il faut noter aussi que les tremblements de terre sont généralement caractérisés par une succession de secousses semblant dénoter une cause qui s'épuise assez promptement, et qui ne tarde pas à se régénérer pour recommencer son œuvre.

Les séismes s'effectuent parfois en silence : bien plus souvent

ils sont annoncés et accompagnés de bruits très forts, en certains cas comparables à celui du tonnerre. Par contre, il est arrivé que des bruits formidables n'ont été suivis d'aucune conséquence fâcheuse. Les secousses peuvent avoir lieu par un temps très calme, sans aucune perturbation atmosphérique, ou bien coïncider avec un violent orage.

Les travaux souterrains dans les mines sont le plus souvent indemnes de tout mouvement, tandis que s'écroulent les maisons de la surface : on cite pourtant des cas où les secousses se sont étendues jusque dans les galeries de mine.

Les tremblements de terre provoquent également dans la mer des mouvements insolites, particulièrement désastreux sur les côtes. Elle s'éloigne d'abord assez loin pour revenir avec une hauteur dépassant notablement les plus hautes marées, et envahir les ports où elle détruit tout; elle retourne en arrière en entraînant avec elle les hommes et tous les matériaux qu'elle a désagrégés : il est arrivé qu'elle a entraîné dans son premier bond un navire qu'elle a abandonné loin du rivage en s'en allant, et qui est resté comme un témoignage de sa venue.

En pleine mer, les navires reçoivent parfois un choc semblable à celui qu'ils éprouveraient s'ils rencontraient un récif, bien que la sonde promptement jetée accuse de grandes profondeurs; ou bien des vagues énormes s'avancent sur eux comme pour les engloutir et leur font courir de très grands dangers. Ces phénomènes sont attribués à des tremblements de terre voisins ou même éloignés.

§ 5. — Dans tout ce qui va suivre, il sera question seulement de tremblements de terre *non volcaniques*, c'est-à-dire se faisant sentir dans des contrées où il n'y a pas de volcans, ou bien dans lesquelles les volcans restent complètement inactifs : ils ne devront être accompagnés d'aucun phénomène volcanique et éruptif.

Les séismes du Centre et du Sud de l'Amérique qui se terminent par des éruptions sont donc exclus de cette étude, comme faisant partie des questions relatives au volcanisme.

CHAPITRE II

Études depuis le seizième siècle jusqu'à Robert Mallet.

§ 6. — Pendant l'antiquité et le moyen âge, les tremblements de terre étaient un effet de la colère céleste, comme les épidémies et autres calamités : c'était une sorte de *dies iræ* anticipé.

L'abbé Libertus Fromondus, docteur en théologie, professeur de philosophie à Louvain (1587-1653) fut frappé de la similitude des effets racontés à propos des tremblements de terre et de ceux qui avaient eu lieu lors de l'explosion d'une poudrière placée dans une tour à Malines sur laquelle la foudre était tombée. Une partie des murs de la ville fut abattue, et l'eau de la rivière projetée au loin avec les poissons qu'elle contenait. Il mentionna cette idée dans un ouvrage sur la météorologie qu'il publia en 1527. *(Meteorologicorum libri sex. Anvers).*

D'autre part, Francesco Travagini écrivit en latin une *Physica Disquisitio* sur les observations qu'il fit au sujet d'un violent tremblement de terre qui détruisit Raguse et se fit sentir à Venise : il indique une explosion souterraine, comme devant être la cause de ce phénomène. Son livre est daté de Venise, des calendes d'avril 1669. L'exemplaire existant à la Bibliothèque nationale de Paris (R. 3189) a été imprimé à Leyde *(Lugduni Batavorum)* en la même année. Je n'ai trouvé dans aucune publication de détails biographiques sur cet auteur.

Hooke (1635-1703) le physicien anglais qui énonça pour la première fois le principe qui forme la base de la théorie de l'élasticité, *ut tensio, sic vis*, prononça vers 1690 à la Société Royale un discours sur les tremblements de terre, reproduit dans ses œuvres posthumes. On n'en dit aucun bien.

Amontons (1663-1705) lut le 19 mai 1703, à l'Académie des Sciences, un mémoire dont le titre suivant nous indique les tendances : *Que les nouvelles expériences que nous avons du poids et du ressort de l'air nous font connaître qu'un degré de chaleur médiocre peut réduire l'air dans un état assez violent pour causer seul de très grands tremblements et bouleversements sur le globe terrestre.* Le moment n'était pas arrivé de traiter une semblable question.

Un travail dont on parle avec éloge a été inséré dans le 51[e] volume des *Transactions philosophiques* de la Société Royale de Londres

(1760) sur les tremblements de terre par le Rév. John Mitchell, de l'Université de Cambridge.

Citons aussi une liste chronologique des éruptions de volcan tremblements de terre, météores, épidémies, depuis les temps historiques jusqu'en 1760 et qui fut publiée dans la collection académique (Tome VI. Dijon et Paris 1761) par l'éditeur de cette collection Guéneau de Montbeillard.

Une mention spéciale doit être faite du minéralogiste et géologue *Gratet de Dolomieu (Déodat)* qui vécut de 1750 à 1801, et qui publia les résultats de nombreux voyages qu'il fit à pied, le marteau du minéralogiste à la main. Nous reparlerons de lui à propos d'une excursion dans la Calabre où il se rendit pour étudier les effets du tremblement de terre de 1783. Rappelons que la dolomie a été nommée ainsi en souvenir de ce savant.

Dans ses *Lectures sur la philosophie naturelle* publiées en 1807 le Docteur Thomas Young (1773-1829) reproduit l'idée d'un choc intérieur comme la cause des tremblements de terre.

Gay-Lussac (1778-1850) a inséré dans les annales de chimie et de physique tome XXII (1823) un article intitulé : *Réflexions sur les volcans*. Il y parle de l'opinion de Young en un paragraphe que je crois convenable de reproduire intégralement à cause de son importance.

« Un tremblement de terre, comme l'a très bien dit le Docteur Young, est analogue à un tremblement d'air: c'est une très forte onde sonore excitée dans la masse solide de la terre par une commotion quelconque qui s'y propage avec la même vitesse que le son s'y propagerait.

» Qu'y aurait-il d'étonnant qu'une commotion très forte dans les entrailles de la terre la fit trembler dans un rayon de plusieurs centaines de lieues? D'après la loi de transmission du mouvement dans les corps élastiques, la couche extrême ne trouvant pas à transmettre son mouvement à d'autres couches, tend à se détacher de la masse ébranlée; de la même manière que dans une file de billes, dont la première est frappée dans le sens du contact, la dernière seule se détache et prend du mouvement. C'est ainsi que je conçois les effets des tremblements de terre à la surface de la terre, et comment j'expliquerais leur grande diversité, en prenant d'ailleurs en considération avec M. de Humboldt la nature du sol et les solutions de continuité qui peuvent s'y trouver.

» En un mot, les tremblements de terre ne sont que la propagation d'une commotion à travers la masse de la terre, tellement

indépendante des cavités souterraines qu'elle s'étendrait d'autant plus loin que la terre serait plus homogène. »

La comparaison de la file de billes qui se trouve ci-dessus a été généralement adoptée; elle est en quelque sorte classique.

Il convient de mentionner ici le grand voyageur *Alexandre de Humboldt* (1769-1859) qui étudia les volcans et tremblements de terre du Sud-Amérique de 1798 à 1804; le géologue *Léopold de Buch* (1774-1853), né en Prusse, qui fit aussi de nombreux voyages à la suite desquels il abandonna la théorie exclusivement neptunienne de son maître *Werner;* notre compatriote *Élie de Beaumont* (1798-1874) qui publia en 1829 ses *Recherches sur quelques-unes des révolutions du globe* où il exposait sa théorie des soulèvements; et enfin *Charles Lyell* (1797-1875) auteur des *Principes de géologie*, parus de 1830 à 1837, où il s'occupe longuement des tremblements de terre : c'est dans cet ouvrage qu'il expose *la théorie dite des causes actuelles*, qui, vivement combattue au début par les adeptes des cataclysmes, a été bientôt acceptée, en gagnant toujours du terrain.

CHAPITRE III

Science anglaise.

§ 7. — *Association britannique.* — Les tremblements de terre me paraissent être entrés dans leur période scientifique par l'initiative de l'Association britannique qui fut fondée en 1831. Bien qu'on ne parle jamais de désastres causés par les séismes, dans le Royaume-Uni, on a éprouvé cependant de fortes secousses en Écosse et en Irlande.

Aussi l'Association institua-t-elle une commission *(committee)* pour susciter l'invention d'appareils enregistreurs qu'elle appela *Seismometers*, et qui étaient destinés à conserver la trace des secousses devant figurer ensuite sur un registre. Un rapport sur ce sujet se trouve dans le compte rendu de la session de 1841.

§ 8. — *Robert Mallet.* Un ingénieur civil irlandais, *Robert Mallet* (1810-1881) ne tarda pas à jeter bientôt après les bases d'une théorie mathématique des tremblements de terre, dont l'importance a été très grande en séismologie.

Mallet était fils d'un fondeur de Dublin auquel il succéda pour diriger sa « Victoria Foundry ». Il devint un grand constructeur de machines et s'occupa aussi de travaux de chemin de fer ou

autres, tels que ponts métalliques, stations de chemin de fer, phares, etc. On le signale comme l'inventeur des tôles embouties pour le platelage des tabliers en fer. Lors de la guerre de Crimée, il étudia la construction de mortiers monstres de 36 pouces (914 *mm*); la conclusion de la paix vint en empêcher l'utilisation. Son activité s'exerça donc de bien des manières, comme il arrive d'ailleurs pour beaucoup de ses collègues, mais ce qui fera survivre son nom, c'est d'avoir fondé *la Séismologie*, science toute nouvelle, à laquelle il me paraît avoir donné le nom qu'elle porte, et dont il a fait une application des plus intéressantes.

C'est en 1846 qu'il présente à l'Académie Irlandaise de Dublin son premier travail sur la dynamique des tremblements de terre (*On the dynamics of earthquakes*), puis il continua ses communications tant à cette Académie, qu'à l'Association Britannique et à la Société Royale de Londres dont il fit partie.

Il présenta notamment à l'Association Britannique 4 rapports remarquables : Le premier en 1850 contient un historique de tout ce qui concerne cette question; j'en ai extrait une partie des renseignements du précédent chapitre.

Dans le second rapport de 1851, il parle des expériences qu'il a faites pour connaître la vitesse de propagation des secousses produites par des explosions de poudre à travers une formation rocheuse ou une masse de sable.

Un catalogue très étendu des tremblements de terre signalés depuis 1606 avant J.-C. jusqu'à 1850 après J.-C., est ensuite inséré dans les années 1852, 1853 et 1854 et constitue le troisième rapport.

Ce catalogue est formé de 6 colonnes savoir :

1 Date. — 2 Localité. — 3 Direction, durée et nombre de chocs. — 4 Phénomènes relatifs à la mer. — 5 Phénomènes météorologiques et autres. — 6 Références.

Le premier tremblement de terre inscrit à la date de 1606 avant J.-C. se rapporte à la délivrance de la Loi sur le mont Sinaï : il est accompagné de tonnerre et d'éclairs. J'avoue avoir été assez étonné de cette mention, car j'avais toujours pensé qu'en disant : la terre trembla, l'Histoire Sainte faisait allusion à des commotions transmises à la terre par un ouragan de la plus grande violence.

Le second aurait eu lieu entre 1604 et 1586, dans le désert, à propos du châtiment provoqué par Moïse, de Coré, Dathan et Abiram (*Nombres XVI, 31*). La terre se fendit et engloutit ces der-

niers « avec leurs familles, tous les hommes qui étaient à Coré et tous leurs biens ». Puis la terre les couvrit.

Le troisième, en 1566, est relatif à la ville de Jéricho dont les murs se sont écroulés (*Josué VI*); interprétation assez inattendue.

Du reste, ce catalogue est fait avec le plus grand soin et représente un travail colossal.

Le quatrième rapport a été présenté à la session de 1858. Mallet y résume ses idées et formule ses conclusions dans les huit lois suivantes qui ont pris son nom :

1° La distribution des séismes dans *le temps* a ses paroxysmes comme leur localisation dans *l'espace* a les siens : mais il n'y a pas de connexité entre les deux faits.

2° Le type normal de distribution superficielle présente des bandes de largeurs à la fois grandes et variables, dont l'amplitude transversale s'étend de 5 à 15 degrés terrestres (de 555 à 1 666 *km*).

3° Ces bandes suivent très généralement les lignes de relief qui définissent et divisent les grands bassins océaniques et semi-océaniques (terr-oceanic) de la surface de la terre.

4° De même que ces lignes de relief suivent fréquemment la direction des chaines de montagnes et ces dernières, les directions des manifestations volcaniques, de même les bandes séismiques longent les chaines de montagnes et les lignes de volcans.

5° Bien que l'influence séismique sensible soit généralement limitée à la largeur moyenne de la bande séismique, certains ébranlements à leur paroxysme se sont parfois propagés à de grandes distances au delà.

6° La largeur de la bande séismique dépend de l'énergie développée et des conditions géologiques et topographiques accidentelles en chaque point sur sa longueur entière.

7° L'énergie séismique peut devenir sensible en quelque point que ce soit de la surface de la terre, son intensité étant cependant d'autant plus grande et plus fréquente qu'on s'approche des grandes lignes d'activité volcanique.

8° Les surfaces de trouble minimum ou non constaté sont les aires centrales des bassins océaniques ou semi-océaniques (terr-oceanic) ainsi que les plus grandes îles situées sur les hauts fonds des mers.

Il faut avouer que ces lois sont tellement générales que leur utilité en est bien diminuée.

§ 9. — La théorie proposée par Mallet a pour point de départ l'idée d'une explosion, telle qu'elle a été émise par Fromondus et Travagini, ensuite par Dolomieu, Thomas Young et Gay-Lussac.

Cette explosion serait réalisée de la manière suivante : Mallet admet l'augmentation de température d'un degré Fahrenheit ou $\frac{5^{\circ}}{9}$ C pour chaque approfondissement de 60 pieds anglais ou 18,29 *m*; ce qui revient à un degré centigrade pour 33 *m* environ. Il s'ensuit que des vapeurs ou des gaz se trouvant à des profondeurs considérables sont par cela même à des températures élevées. Mallet admet, en outre, que l'eau puisse arriver dans des cavités très chaudes où se réalisent les conditions indiquées par Boutigny pour produire une explosion violente qui imprime aux roches environnantes un mouvement vibratoire et périodique que la mécanique générale comprend dans son programme.

Soit en effet T la durée de la période du mouvement, c'est-à-dire du temps nécessaire à un mobile parti d'un point A, pour y revenir, la mécanique générale nous fournit la relation $T = 2\pi\frac{1}{k}$, la lettre k étant un coefficient tel que l'on ait pour l'accélération de vitesse $\frac{d^2x}{dT^2} = -k^2x$. Si E représente le module d'élasticité de la matière vibrante et D sa densité, Mallet fait $k^2 = \frac{E}{D}$, d'ou résulte l'expression $T = 2\pi\sqrt{\frac{D}{E}}$. Le caractère de cette loi est, par suite, l'isochronisme et l'égalité des oscillations puisque le temps T ne dépend que de deux quantités D et E.

Ce point de départ une fois adopté, on en déduit la vitesse, la puissance vive, etc. Mais il faut des expériences pour passer de la théorie à la pratique, pour s'assurer s'il n'y a pas de coefficients numériques à introduire dans les formules et pour déterminer les valeurs de E.

Mallet s'occupe de telles expériences et se rend compte des vitesses réelles de propagation dans le sable et dans le roc au moyen d'explosion de poudre et de séismomètres qu'il perfectionne. Il détermine aussi les valeurs de E pour les matériaux usuels, ou les calcule au moyen des observations déjà faites.

Mallet cherche alors à déterminer la position du centre d'explosion au-dessous du sol. Il recourt dans ce but à la recherche de la ligne droite suivie par les secousses depuis le centre jusqu'à

l'objet ébranlé, c'est-à-dire le plan dans lequel elle se trouve, et sa direction dans ce plan ou plutôt *l'angle d'émergence* qu'elle fait avec l'horizontale. L'observation des chutes d'objets simplement posés, tels que statues, fioles, bibelots divers, l'oscillation des objets suspendus, si elle a pu être constatée, lui donnent des indications sur le plan de direction. Mais il utilise surtout la direction des fissures ou crevasses dans les bâtiments simplement endommagés : si l'axe de ce bâtiment est dans la direction des secousses, les murs perpendiculaires à cette direction seront le plus fortement ébranlés ou même seront jetés par terre, les fissures dans les autres seront perpendiculaires à la direction de la secousse, et l'angle d'émergence sera égal au complément de celui que font les fissures avec l'horizontale. Si les secousses prennent le bâtiment en diagonale, il se détachera deux angles opposés, limités en forme de V.

Mallet calcule aussi l'angle d'émergence par des équations déduites de la situation des objets projetés à terre, dont la position initiale est connue.

Soit donc e l'angle d'émergence, d la distance horizontale du point considéré à l'épicentre, h la hauteur verticale entre le centre et l'épicentre, on a un triangle rectangle où les lignes d et h sont les côtés de l'angle droit, et par suite $h = d \tang e$.

Nous verrons plus loin que Mallet peu après le tremblement de terre de la Basilicata, se rendit sur place pour relever tous les éléments qui entrent dans ses formules, et déterminer la position du foyer d'ébranlement. Il en fit l'objet d'une publication qui eut un très grand retentissement.

§ 10. — Mallet est une figure qui mérite de nous arrêter : il a une empreinte très britannique surtout par ses réminiscences bibliques. Nous avons vu que la délivrance de la Loi sur le mont Sinaï, le châtiment de Coré et de ses compagnons, et la prise de Jéricho, figurent dans son catalogue des tremblements de terre. A la vue des désastres de la Basilicata, il songe aux paroles du Psalmiste : on trouve en effet dans le psaume CIV les deux versets suivants :

« 31. Que la gloire de l'Éternel soit célébrée à toujours : que l'Éternel se réjouisse en ses œuvres !

» 32. C'est lui qui regarde la terre et elle tremble : qui touche les montagnes, et elles fument. »

On ne s'étonnera donc pas si, au commencement de son grand

ouvrage, il annonce l'intention de prouver l'existence de lois auxquelles obéissent les volcans et tremblements de terre. Dès lors, l'Auteur de toutes choses est un Dieu faisant l'ordre et non la confusion, même dans de tels phénomènes.

La théorie de Mallet, après son apparition définitive en 1862, fut d'abord acceptée dans le monde savant. Maintenant elle est généralement abandonnée sur le continent pour d'autres systèmes qui poursuivent le même but en se servant de moyens différents Chez les savants anglais, l'autorité de Robert Mallet est toujours acceptée; les objections qu'ils font à ses idées, et les modifications qu'ils y introduisent, sont présentées avec une vénération respectueuse que leur compatriote mérite à bien des égards.

§ 11. — *M. John Milne.* — Tels sont en particulier les sentiments de M. *John Milne*, membre de la Société royale de Londres, et professeur de géologie et d'exploitation des mines à l'*Imperial College of Ingeneering* de Tokio (Japon); il a publié en 1880, à Londres, un ouvrage sur les tremblements et autres mouvements de la terre (*Earthquakes and other earth movements*), dans la « International Scientific Series » de K. Paul et Cie. Le succès a été assez grand pour qu'en 1893 il soit parvenu à sa troisième édition. Le Japon est une terre d'élection pour les études séismiques; chaque jour on y compte une ou deux secousses, indépendamment des tremblements de terre violents qui, dans le XVIIIe siècle, ont été au nombre de 31, et de 27 dans le XIXe qui n'est pas encore terminé.

M. Milne a été chargé d'organiser un service de renseignements sur les questions séismiques : il a si bien réussi que sept cents stations ont été établies pour les recueillir, et que le Gouvernement japonais a décidé la création d'une chaire de séismologie à l'Université de Tokio. Une Société séismologique a été fondée ; elle publie des transactions contenant des articles importants. Nul doute qu'avec de tels moyens d'investigation on ne réalise de sérieux et rapides progrès, malgré la grande complication que présentent les phénomènes, à cause de la quantité considérable de volcans existant dans les diverses îles du Japon.

M. Milne a fait de nouvelles expériences sur la propagation des secousses produites par les explosions, en continuation de celles de Mallet : il a aussi fait construire un séismographe enregistreur qui, heureusement modifié par M. Gray, donne à la fois ce qui concerne les chocs et les mouvements simplement ondulatoires.

Le livre de M. Milne contient les plus récentes notions que l'on possède sur la séismologie : il est bien complet et il se termine par une utile bibliographie faisant suite à celle de Mallet arrêtée en 1858. Il a le très grand avantage d'être écrit par un savant qui vit au milieu des phénomènes qu'il décrit, et qui en parle d'après ses propres études et observations.

CHAPITRE IV

Science française.

§ 12. — Nous avons vu que dans la Grande-Bretagne on avait eu à se préoccuper des secousses qui ont eu lieu en Écosse et en Irlande, sans amener pourtant de désastres. Cette circonstance devait exciter les savants de ce pays à étudier les tremblements de terre : ils possèdent en outre des colonies ayant souvent à en souffrir, de sorte qu'il est naturel de les voir s'intéresser vivement à cette question. En France, au contraire, on constate seulement dans les Alpes, les Pyrénées et le Jura, quelques vibrations ne produisant pas de dommages sérieux. Nos savants, tout en se tenant au courant des théories proposées, comme aussi en visitant à l'étranger les pays éprouvés par les séismes, ne se sont pas livrés à des études tout à fait spéciales à leur égard. Voici pourtant quelques indications sur les principaux travaux publiés sur ce sujet.

§ 13. — *Alexis Perrey.* — Avant que Mallet n'ait commencé à publier ses recherches sur les tremblements de terre, *Alexis Perrey*, professeur à la Faculté des Sciences de Dijon, se livra à un travail opiniâtre pour former un catalogue complet des tremblements de terre sur toute la surface de la terre depuis 1750, afin de voir s'il n'y aurait pas dans leur succession une périodicité dérivant d'influences astronomiques sur le noyau liquide de la terre. Il lui sembla reconnaître, en effet, que la lune devait entrer en ligne de compte de la manière suivante :

1° La fréquence des tremblements de terre augmente avec les syzygies ;

2° Elle augmente aussi dans le voisinage du périgée et diminue vers l'apogée ;

3° Les secousses sont plus fréquentes lorsque la lune est dans le voisinage du méridien que lorsqu'elle en est éloignée de 90°.

Perrey s'est toujours défendu d'avoir fait une théorie séismique,

« considérant, dit-il, textuellement, le phénomène complexe, lié intimement à l'activité volcanique et dû, dans son ensemble, à plusieurs causes, j'ai eu seulement pour but de mettre en évidence l'action prédominante ou au moins différentielle de l'une de ces causes. Une théorie rationnelle devra tenir compte des trois lois que j'ai établies relativement à l'influence lunaire sur les tremblements de terre. »

§ 14. — *M. J. Delauney.* — Les influences astronomiques sur les tremblements de terre ont préoccupé un autre auteur.

M. J. Delauney a publié une brochure intitulée : *Lois des grands tremblements de terre et de leur prévision* (Paris, Vanier, 1884) qui est datée de la Guadeloupe, 1879 : il était alors capitaine d'artillerie de la marine.

Il pense que Jupiter, Saturne et Uranus, comme les essaims d'astéroïdes, peuvent influer sur les tremblements de terre, et il en déduit des périodes où les maxima de tremblements de terre passent par les plus grandes valeurs. Il se sert pour établir ces périodes, des catalogues de Perrey, de 1750 à 1842. Comme ce dernier, il pense que le noyau liquide de la terre a des espèces de marées qui provoquent les séismes.

§ 15. — *M. d'Abbadie.* — Nous avons dit que parmi les séismes on distinguait ceux dénommés *microséismes*, à cause de l'extrême petitesse de leurs trépidations, laquelle échappe complètement à nos sens et doit être étudiée avec des appareils spéciaux. *M. d'Abbadie*, membre de l'Académie des Sciences, constata le premier ces frémissements dans son observatoire d'Abbadia, près d'Hendaye (Passes-Pyrénées), en étudiant les vibrations de la verticale en ce lieu. Il observait pour cela, au moyen d'un microscope, l'image de fils en croix réfléchis sur du mercure contenu dans une cavité creusée dans la roche même sur laquelle est établi l'observatoire placé à 400 *m* de l'Océan atlantique et à 62 *m* au-dessus du niveau de la mer. M. d'Abbadie trouva que la surface du mercure était rarement tranquille. Les marées faisaient sentir leur influence, mais, d'autres fois, l'air et la mer étant parfaitement calmes, le mercure se mettait en mouvement, comme s'il fût agité par un séisme microscopique.

M. d'Abbadie s'abstint d'ailleurs d'émettre une hypothèse sur ces mouvements ; il constata seulement que leur cause n'était ni astronomique ni thermométrique.

§ 16. — *M. Daubrée.* — La question des tremblements de terre a été traitée par M. Daubrée, membre de l'Académie des sciences, dans son travail sur *les Eaux souterraines aux époques anciennes et actuelles* (3 volumes, Dunod, 1887). Il l'a reprise dans l'ouvrage intitulé : *les Régions invisibles du globe et des espaces célestes* (Bibliothèque scientifique internationale, Alcan, 1888) où j'ai puisé les renseignements suivants :

M. Daubrée rappelle d'abord que, d'après ses propres expériences, l'eau dans un vase clos acquiert, par une chaleur suffisamment élevée, une force explosive comparable à celle des corps fulminants. Les terribles explosions des chaudières des machines à vapeur n'en donnent qu'une faible idée.

Toutes les conditions nécessaires pour arriver à une telle force se réaliseraient à une certaine profondeur de l'écorce terrestre, tout aussi bien dans les régions volcaniques qu'en dehors de leur domaine.

D'une part, l'eau est abondamment répandue dans ladite écorce par les moyens les plus divers, infiltration, capillarité, etc. D'autre part, tous les géologues admettent que la température augmente au fur et à mesure qu'on descend dans la terre, et que le taux d'accroissement moyen de 1° pour 30 *m* est parfois plus rapide, même en dehors des contrées volcaniques.

L'eau souterraine prenant la température des régions où elle est parvenue, provoquerait les ébranlements superficiels et serait, par suite, l'origine des tremblements de terre. La profondeur à laquelle doit se trouver ce foyer d'ébranlement serait, d'après les recherches de Mallet, comprise entre 9 et 38 *km*, d'où une chaleur de 300 à 1 200°.

« Sous les régions disloquées, dit M. Daubrée (p. 144), et principalement sous les chaînes de montagnes d'un âge relativement récent, le tassement définitif des parties profondes peut n'être pas encore établi ; il doit rester des interstices et des cavités intérieures à haute température, qui, à la longue, se sont remplis d'eau par l'action de la capillarité. Ainsi, dans la profondeur des régions disloquées, nous trouvons les trois conditions que nous venons de mentionner : des cavités, de l'eau et une haute température, et par suite, un agent capable, à un moment donné, de produire des effets dynamiques des plus considérables... Si l'on admet au-dessous de l'écorce terrestre, l'existence d'une mer de matières fondues, on aurait des phénomènes analogues, quand les roches

hydratées viendraient, par suite de rupture de plafond, à tomber dans ces masses ignées. »

Cette théorie aurait l'avantage d'expliquer simplement la répétition des secousses dont la cause semble se régénérer : les cavités se débouchant et se rebouchant successivement : cela expliquerait aussi les mugissements, les tonnerres souterrains, ainsi que le jaillissement des eaux chaudes et des matières gazeuses, toutes manifestations qui se vérifient souvent dans les tremblements de terre éloignés de tous points volcaniques.

« En résumé, conclut M. Daubrée (p. 148), les tremblements de terre des régions dépourvues de volcans paraissent dus aux effets d'une sorte d'éruption volcanique qui ne peut aboutir jusqu'à la surface, et semblent dépendre, aussi bien que ceux des régions volcaniques d'une cause unique : la vapeur d'eau, animée de la puissance énorme qu'elle acquiert dans les profondeurs de la croûte terrestre. »

§ 17. — *M. Fouqué*. — La chaire de géologie au Collège de France, après avoir été occupée par Cuvier, de 1800 à 1832, et par Elie de Beaumont, de 1832 à 1874, a passé à *Charles Sainte-Claire Deville*, qui l'a occupée deux ans seulement; il s'est pourtant occupé des volcans et des tremblements de terre. Il a laissé des monographies remarquables, et son nom devait figurer dans notre aperçu concernant la science française. Son successeur actuel est M. *F. Fouqué*, membre de l'Académie des Sciences, qui a publié dans la *Bibliothèque Scientifique contemporaine* de Baillière et fils, un volume sur *les Tremblements de terre* (1888). L'autorité de M. Fouqué en cette matière est accrue singulièrement par l'étude qu'il a faite sur place de divers tremblements de terre, notamment de l'archipel grec en 1867, ainsi qu'en Andalousie en 1884. J'ai puisé dans ce même ouvrage les citations précédentes indiquées sous son nom.

Un des chapitres est consacré à la détermination de la direction des secousses. Au premier abord, le problème ne paraît pas compliqué. La chute de statues, de vases ou d'objets, comme des bocaux de pharmacien, des armes dans un arsenal, devraient suffire pour le résoudre. Mais si on réunit les diverses informations prises, on découvre ordinairement des directions absolument différentes de celles auxquelles on devait s'attendre. « Pour expliquer de telles anomalies, dit M. Fouqué, il faut admettre nécessairement que la secousse, en se propageant, a subi, soit

brusquement au contact d'un accident géologique, soit peu à peu, par suite de l'hétérogénéité du terrain ébranlé, des modifications profondes dans sa direction de propagation... « Ces perturbations dans les directions constatées s'observent particulièrement dans des pays qui offrent des accidents orographiques considérables, conséquences de dislocations du sol profondes, nombreuses et importantes. C'est pourquoi, en Suisse, M. Forel insiste sur ces variations désordonnées des directions d'ébranlement, et dans le Centre-Amérique, M. de Montessus déclare qu'après avoir cherché dans un grand nombre de tremblements de terre à déterminer les directions d'ébranlement, il n'a jamais pu arriver à une conclusion certaine. Il attribue le fait à ce que les secousses, en se communiquant dans un sol hétérogène, subissent des phénomènes de réflexion et de réfraction. Il en résulte des ondes secondaires qui se superposent à l'onde principale, et en masquent la direction de propagation. Pour une secousse donnée, dit-il, les directions indiquées font presque le tour du cadran. C'est aussi à des interférences d'ordre secondaire, avec l'onde principale que l'on attribue les espaces immobiles *(ponts)* au milieu d'une surface agitée, et réciproquement les maxima inattendus de la commotion dans une région médiocrement éprouvée par le séisme (p. 65 à 66). »

On recommande, dans l'étude d'un tremblement de terre, de déterminer la vitesse de propagation des secousses à la surface du sol, et de tracer sur des cartes des courbes dites *homoséistes* passant par les points où l'ébranlement est arrivé au même instant : cela exige évidemment des horloges réglées d'une manière parfaite, ce qui a eu lieu très rarement jusqu'ici. Mais ce qui est remarquer, ce sont les écarts énormes qui ont été trouvés entre la vitesse de propagation de divers séismes. En Amérique, pour le tremblement de terre de Charleston (31 août 1886), on a obtenu jusqu'à 6 000 *m* par seconde ; mais le 28 juin 1880, une secousse se transmettait de Genève à Coppet, à raison de 54 *m* par seconde !

§ 18. — On croit généralement que tout séisme amène nécessairement une dislocation profonde du sol, par suite de fentes, ainsi que des modifications permanentes dans le relief de la surface. L'examen superficiel d'un pays bouleversé par des secousses, semble, au premier abord, donner raison aux partisans de ces idées ; mais M. Fouqué pense que les fentes ne sauraient être

assimilées aux grandes fractures ou failles, que l'on constate dans les mines, car ces fentes ont pour cause « un glissement partiel de couches superficielles qui reposent sur un sous-sol incliné et sont susceptibles de se déplacer le long de leur surface de contact (p. 138). » Ce n'est donc pas le déplacement d'une bande de terrain dans le sens vertical, correspondant à un tassement profond, mais un simple glissement superficiel « dont la cause est visible et qui ne constitue qu'un phénomène de médiocre importance (p. 139) ».

M. Fouqué cite divers exemples à l'appui de son opinion. Toutefois, il ne peut parler que de ce qu'il a vu et constaté à la seule inspection superficielle des lieux, et il ajoute : « Assurément, les commotions n'arrivent pas à la surface du terrain sans produire quelques troubles dans les parties profondes qu'elles traversent, mais ces modifications ne sauraient être bien considérables, autrement elles entraîneraient des modifications importantes dans l'orographie (ou régime des eaux) de la région ébranlée. » Il rappelle que le plus souvent, les chocs séismiques violents, passent inaperçus dans les mines, où les galeries et des boisages *même imparfaits* restent intacts. M. Fouqué s'attache ensuite à démontrer que rien d'authentique et de rigoureusement démontré ne subsiste relativement aux changements durables qu'on a dit avoir été éprouvés par les côtes du Sud-Amérique sous l'influence des tremblements de terre; et qu'il en est de même pour un surhaussement du sol dans le delta de l'Indus, avec un affaissement voisin facilement explicable.

§ 19. — L'étude générale des tremblements de terre faite par M. Fouqué se termine par la détermination de la vitesse avec laquelle se propagent les secousses à travers le sol. Après avoir rappelé les expériences de Mallet, les observations du général Abbot, à Hallet's Point, près New-York, avec l'explosion d'une charge de 22 680 *kg* de dynamite (50 000 livres), les expériences de M. Milne, M. Fouqué relate celles qu'il a faites en collaboration avec M. Michel Lévy, au Creusot et à Commentry. Les différentes formations géologiques donnent des vitesses variant de 3 000 *m* dans le granit, à 300 *m* dans le sable de Fontainebleau. Il mentionne ensuite les résultats obtenus par M. *Nogués*, Ingénieur civil, dans des mines en Espagne, et il termine son étude de la manière suivante :

« M. Nogués conclut *avec raison*, que la vitesse de transmission

des ébranlements souterrains ne varie pas seulement avec la nature de la roche, *mais qu'elle dépend de plusieurs facteurs dont quelques-uns sont fort difficiles à déterminer*.

» Il ajoute qu'on ne saurait appliquer les nombres trouvés par l'expérience sur des roches données, au calcul des ondes séismiques, dans les tremblements de terre, quand ceux-ci se produisent en dehors des régions où les expériences ont été faites (p. 247, 248). »

CHAPITRE V

Science austro-hongroise.

§ 20. — *M. Suess.* — L'Autriche-Hongrie est le siège de tremblements de terre qui ont donné lieu à des observations toutes spéciales, à cause de la configuration des Alpes et des Carpathes, au milieu desquelles ils se sont produits. Les mouvements ont eu lieu non seulement le long des grandes fractures de soulèvement, mais aussi transversalement à ces mêmes fractures. Parfois le terrain est secoué au même instant d'un bout à l'autre d'une grande longueur, de sorte que le centre d'ébranlement devient une ligne continue.

M. Fouqué, dans le chapitre XI de son ouvrage sur les tremblements de terre, nous met au courant des travaux des savants austro-hongrois. *Suess*, qui peut être considéré comme le promoteur de ces travaux, émit l'idée qu'il y avait une corrélation entre les séismes et les forces qui ont engendré les montagnes. *Bittner*, *Credner*, *Höfer*, *Hörner*, *von Lasaulx* et *Toula* ont soumis cette idée à l'épreuve de l'explication des faits constatés. Mais cette épreuve montra toutes les difficultés que soulevait cette idée : « Dans chaque cas particulier, nous dit M. Fouqué (p. 201), il faut s'attendre à *de graves incertitudes;* cependant, en agissant avec prudence et en ne cherchant pas à obtenir une précision que la question ne comporte pas, on peut trouver dans la considération des relations géologiques avec les séismes, parfois un guide précieux et souvent une véritable satisfaction pour l'esprit. »

§ 21. — *M. Falb.* — M. Fouqué parle aussi, dans son chapitre V, d'une idée de M. *Falb (de Vienne)* pour résoudre la question du centre d'ébranlement (p. 102 et suivantes) : elle s'appuie sur ce fait que, dans les séismes importants, un bruit plus ou moins intense précède la commotion du sol ; les vibrations sonores se propageraient donc plus rapidement à partir du centre d'ébran-

lement que celles des mouvements destructeurs. Plus on s'éloigne du centre, et plus l'intervalle de temps compris entre la perception du bruit et celui de la sensation du choc doit augmenter, si l'on admet que le rapport entre les vitesses de propagation du son et du choc soit constant. Il est alors facile de mettre le problème en équation, si l'on a les différences de temps entre lesdites perceptions, le rapport constant des vitesses, ainsi que ces vitesses déterminées expérimentalement. Mais en faisant des applications de cette théorie, on arrive à constater que le rapport des vitesses est variable; dès lors les formules ne s'appliquent plus, ou elles ont besoin de corrections qui ne sont guère admissibles.

CHAPITRE VI

Science allemande.

§ 22. — *M. Karl Fuchs.* — La Bibliothèque Scientifique Internationale a publié un volume sur les *volcans* et *tremblements de terre* (Paris, 1876) par *M. Karl Fuchs*, professeur à l'Université de Heidelberg. C'est un ouvrage de vulgarisation fait avec une grande connaissance du sujet.

L'auteur est parmi ceux qui insistent sur la définition préalable des tremblements de terre qui doivent avoir, d'une manière exclusive, une cause souterraine. « Il est nécessaire, dit-il, de bien comprendre le sens que *toutes les nations* attachent à l'expression de tremblement de terre », car c'est par ce sens que la science reçoit une tâche précise, c'est-à-dire l'étude de la forme sous laquelle ils apparaissent, leurs effets et enfin leur cause. Nous avons déjà protesté contre cette limitation de *causes;* nous y reviendrons plus loin.

M. Fuchs estime que les tremblements de terre ne sont point d'ailleurs déterminés par une force unique et spéciale, répandue uniformément dans les profondeurs de la terre, mais *qu'ils consistent en effets semblables entre eux, produits cependant par des causes très diverses.*

Il distingue le groupe des tremblements *volcaniques* de ceux *non volcaniques*; la cause de ces derniers provient toujours, à son avis, de *mouvements mécaniques de certaines portions de la masse solide du globe*, comme affaissements, dérangements ou glissements des couches, changements dans l'équilibre de certaines portions de rocher, etc., etc.

« *Dès qu'une couche profonde*, dit-il, *recouverte par une autre couche s'affaisse subitement, ce mouvement subit se transmet à travers les couches recouvrantes, et se traduit par un choc à la surface de la terre* (p. 150). »

Suspendez une pierre sur laquelle seront des objets simplement posés ; coupez les cordes de suspension, la pierre tombera, et les objets éprouveront « tous les effets que l'on remarque à la surface du sol après des tremblements de terre ».

De tels affaissements seraient le résultat des causes les plus diverses : la dissolution des éléments solubles des roches calcaires gypseuses ou de sel gemme serait l'une d'elles.

L'eau agit d'ailleurs autrement que par dissolution : en pénétrant dans la terre, elle rencontre souvent des couches argileuses qui s'imbibent d'eau, se ramollissent et deviennent pâteuses ; lorsque les couches supérieures sont inclinées, elles glissent et descendent ; quand elles sont horizontales, elles compriment les inférieures en les forçant à entrer dans des vides et dès lors elles s'affaissent.

Un glissement de terrain arrivé en Chablais (1867) et un crevassement de montagne dans le gouvernement de Simbirsk sont cités comme exemples.

Les transformations de la houille, qui se continueraient même actuellement, donneraient lieu à des tassements et par suite à des affaissements qui, effectués par saccades, produiraient des tremblements de terre : telle serait l'explication des secousses ressenties en 1869 dans les bassins houillers de Charleroi, de Kohlscheid et de la Ruhr.

Partout où il se produit des pertes de substance *dans l'intérieur de la terre*, il y aurait des affaissements locaux et par suite des séismes. De là tant d'exemples de tremblements de terre violents, accompagnés *d'affaissements visibles et quelquefois très considérables* à la surface de la terre.

Les dislocations de terrain, appelées *failles* par les mineurs et les géologues, seraient aussi la cause de séismes.

§ 23. — Pour montrer comment une *petite secousse imperceptible* d'un terrain rocheux considéré comme base suffit pour mettre la surface en un état d'oscillation assez fort, pour devenir parfois visible, M. Fuchs invoque l'expérience d'une plaque de verre mise en vibration avec un archet ; la plaque ne semble pas en mouvement, mais si avant de la faire résonner, on la couvre de sable, on

voit celui-ci entrer en mouvement. La même comparaison expliquerait les mouvements des dépôts meubles sur une couche rigide, et par suite l'immunité des maisons bâties sur le roc, les grands dégâts constatés dans celles voisines établies sur du sable plus ou moins argileux, comme il est arrivé dans des séismes, ainsi que nous le verrons plus loin.

M. Fuchs conclut qu'il est encore impossible de désigner la véritable nature de chaque tremblement de terre en particulier, et de lui assigner sa véritable cause, parce que les récits ou les recherches dont ils ont fait l'objet sont incomplets; il termine en rappelant ce qu'il a dit en commençant, que les tremblements de terre ne relèvent pas d'une cause unique, mais sont des effets semblables produits par des causes diverses.

§ 24. — *M. Seebach.* — Nous avons vu l'idée émise par M. Falb pour la détermination du centre des secousses. Un savant allemand, *M. Seebach*, a pensé qu'on pourrait se servir des moments précis où la secousse avait été ressentie en des lieux différents. Si nous appelons x la distance qui réunit le point secoué au centre, et qui est l'hypothénuse du triangle rectangle déjà considéré au § 9 pour la théorie de Mallet, si nous conservons la lettre h pour la profondeur verticale, allant du centre à l'épicentre, et d la distance horizontale de l'épicentre au point considéré, nous aurons $x^2 - d^2 = h^2$. C'est précisément l'équation d'une hyperbole dont x et d seront les variables. Soit T le moment de la secousse initiale au centre, t celui où elle arrive au point d'observation; la distance x sera parcourue dans le temps $t - T$, et si v est la vitesse de propagation de la secousse dans le sol, on aura :

$$x = (t - T)v.$$

La position du point épicentral peut se déterminer par les séismographes, les oscillations des objets suspendus, les indications multiples fournies par les désastres, etc. Si l'on possède trois points d'observation pour lesquels on ait déterminé leur distance au point épicentral, et observé le temps t, on aura, en définitive, trois équations pour déterminer h, v et T. En employant la méthode des moindres carrés, on pourra utiliser un plus grand nombre de données.

On a été favorable à cette théorie que von Lasaulx a appliqué au tremblement de terre de Herzogenrath (22 octobre 1873).

§ 25. — Après avoir indiqué les méthodes de Mallet, Falb et Seebach, pour chercher la profondeur du centre d'ébranlement,

voici quelle est la conclusion de M. Fouqué dans l'ouvrage déjà cité, p. 114.

« En résumé, nous voyons que toutes les méthodes proposées jusqu'à présent pour déterminer la profondeur du centre d'ébranlement ne doivent être mises en usage qu'avec une extrême réserve. De plus, à cause de l'hétérogénéité du terrain et de l'étendue généralement notable occupée par le foyer souterrain, on peut affirmer dès maintenant qu'elles ne conduiront jamais qu'à des résultats *grossièrement approximatifs*, lesquels cependant ne sont pas à dédaigner.

» ... Il est d'ailleurs à peu près certain, que c'est dans l'épaisseur de l'écorce terrestre (à une profondeur pouvant arriver exceptionnellement à 60 *km*), et non dans le noyau incandescent qu'elle recouvre qu'il faut chercher la cause des phénomènes; tout au plus, a-t-on le droit de l'attribuer aux parties de l'écorce en contact avec le noyau sous-jacent supposé fluide. »

CHAPITRE VII

Science italienne.

§ 26. — *M. de Rossi.* — J'ai réservé intentionnellement pour la fin de l'historique des théories séismiques les études faites en Italie, à cause de leur nouveauté et de leur originalité. Ces études seront personnifiées pour nous par M. le commandeur *Michele Stefano de Rossi*, directeur du service des observations géodynamiques à Rome.

Voici les renseignements que j'ai puisés dans le *Bulletino del Vulcanismo italiano* (années 1874 à 1889) dont M. de Rossi était le rédacteur, — *la Meteorologia Endogena* du même, en 2 vol. in-8° (1879 et 1882. Milano, fratelli Dumolard), — et enfin une brochure en français de M. de Rossi également, et intitulée : *Nouvelles études sur les tremblements de terre et les autres phénomènes géodynamiques* (Leyde, 1883); elle est la reproduction d'une conférence faite en Hollande à l'Exposition internationale coloniale.

L'abbé *Antonio Stoppani*, professeur de géologie à Milan a publié un cours de géologie où il a étudié d'une manière générale, les forces auxquelles notre globe est soumis, en distinguant celles extérieures ou *exogènes* de celles intérieures ou *endogènes* qui sont d'ailleurs reliées les unes aux autres par une étroite connexité. Les forces exogènes forment la météorologie telle que nous la

connaissons; il y avait donc à constituer la science des forces endogènes. Cette grande synthèse de la dynamique terrestre, faite, paraît-il, d'une façon magistrale, impressionna vivement M. de Rossi.

D'autre part, le Père *Timoteo Bertelli*, de l'ordre des Barnabites, professeur au collège de la Querce à Florence, s'était adonné à l'étude des mouvements spontanés du pendule, semblables à ceux déjà décrits par M. d'Abbadie; ils devinrent dans son esprit des tremblements de terre microscopiques ou microséismes. On le plaisanta sur une telle idée; le Père Secchi disait que le Père Bertelli avait dans son collège 180 tremblements de terre vivants et qu'il n'en fallait pas tant pour mettre en branle perpétuel tous ses séismographes. Pourtant la réalité de ces microséismes s'imposa bientôt : ce fut alors que M. de Rossi entra dans l'arène avec la pensée que ces phénomènes pouvaient être la manifestation des forces endogènes de l'abbé Stoppani, ce qui le mettrait à même de constituer la science de ces forces. M. le professeur Palmieri avait d'ailleurs établi à l'observatoire du Vésuve un séismographe au moyen duquel il annonçait les éruptions; pourquoi ne pas généraliser une telle étude ?

M. de Rossi installa un instrument très sensible dans une grotte à *Rocca di Papa*, non loin de Rome, localité placée sur un volcan éteint de l'ancien Latium, ce qui constituait une situation des plus favorables : il eut bientôt des résultats décisifs. Le comte Malvasia à Bologne, et M. Guidi, professeur à Pesaro, faisaient de leur côté des observations semblables et venaient confirmer celles de M. de Rossi, qui, après avoir réuni tous les éléments d'une conviction réelle, publia en 1874 le *Bulletino del Vulcanismo italiano*, et en 1879 le premier volume de la *Meteorologia Endogena*, puis le second en 1882.

Il faut avouer que ce titre de *Météorologie Endogène* est étrange au premier abord. Le mot météore vient du grec *meteoros* qui signifie *chose qui se passe dans l'air*. Aristote a fait un traité sur les météores. Ce mot est passé avec sa signification grecque dans les langues italienne, française, anglaise et même allemande. Comment peut-il s'appliquer à ce qui se passe dans la terre ?

Dans son cours de géologie, l'abbé Stoppani avait parlé de dynamique terrestre endogène ou encore d'endodynamique géologique. M. de Rossi ayant constaté dans ses observations que les phénomènes endogènes ont des variations périodiques comme ceux de l'atmosphère, et que la marche des uns est parallèle à celle des

autres, il en conclut qu'il y avait une étroite relation entre les deux ordres de phénomènes, et qu'on pouvait opposer la *météorologie endogène* à celle qui n'a pas encore d'épithète, mais qui devrait recevoir celle d'exogène ou atmosphérique. Les mouvements séismiques sont alors assimilés aux troubles passagers ou tempêtes et ouragans aériens, et cette singulière dénomination fut adoptée pour la nouvelle science.

Cette décision ne parait pas heureuse, mais pour ce qui concerne les sciences, les querelles de mots sont tout à fait hors de propos; il faut voir les choses elles-mêmes et les juger sans penser à leurs noms.

§ 27. — M. de Rossi a divisé les phénomènes qu'il a observés en quatre groupes :

1° Les variations de l'électricité et du magnétisme terrestre qui accompagnent les phénomènes séismiques et volcaniques et qui par elles seules dénotent quelquefois une phase d'activité interne.

2° Les modifications dans la circulation souterraine des eaux révélées par les changements de niveau dans les lacs et les puits lorsqu'ils ne sont point dus au cours régulier de la filtration naturelle.

3° Le degré d'activité éruptive de la terre qui débuterait par des éruptions microscopiques se réduisant alors à la formation et à la compression de vapeur d'eau et gaz divers dans les différentes couches terrestres. De telles éruptions constitueraient probablement une source principale d'où l'atmosphère puise son approvisionnement sans cesse renouvelé d'acide carbonique; elles expliqueraient « les vapeurs qui s'élèvent dans l'air, les odeurs qui s'y répandent subitement quelquefois, les gaz qui plus souvent qu'on ne croit, se dégagent des eaux, surtout des eaux souterraines, ou s'échappent directement des parois des cavernes, le grisou des mines, les altérations qui troublent les eaux potables ou modifiant leur température (*Nouvelles études* p. 13 et 14) » éléments auxquels on n'avait jusqu'ici attaché aucune importance, mais qui révèlent le fait capital de tout l'ensemble des éruptions microscopiques terrestres.

4° Les tremblements de terre dont l'analyse a donné les résultats les plus riches, depuis le microséisme jusqu'aux épouvantables désastres. La découverte du Père Bertelli, serait d'après M. de Rossi, dans tout ce qui concerne la dynamique endogène terrestre, la plus grande conquête faite de nos jours : « les vibrations du sol deviennent un indice constant et sûr des variations

endodynamiques tout comme la pression atmosphérique est une annonce de changements météorologiques ».

La secousse séismique ne saurait plus être représentée « par une pierre tombant dans l'eau et produisant des ondulations concentriques; mais plutôt par l'action d'une force explosive qui, se faisant jour à travers les masses crevassées des continents, en agite les parties à la manière des écailles d'une cuirasse ». Les commotions se produiraient dans les lignes de fissures des couches terrestres, et seraient suivies de vibrations dans le sens transversal à cette ligne.

M. de Rossi décrit, dans sa Météorologie endogène, les appareils inventés et perfectionnés par le Père Bertelli et lui-même, afin d'étudier les mouvements terrestres; ils sont assez nombreux et ils ont reçu des noms divers : *tromomètre*, *tromoséismomètre*, *orthoséismomètre*, *avisateur séismoscropique*, *autoséismographe*, *microséismographe*, etc.

§ 28. — Une autre classe de phénomènes a été étudiée par M. de Rossi; je veux parler des sons recueillis au moyen d'appareils microphoniques qui lui ont fait entendre des sourds grondements et des sifflements semblables à ceux des fumerolles dans les cratères des volcans. Il les a comparés et trouvés identiques avec les sons et vibrations produits par les chaudières des machines à vapeur.

Il en a conclu que les vapeurs emmagasinées sous le sol, les gaz avec leurs actions et réactions constituaient la force qui entre en jeu dans les tremblements de terre, même à de grandes distances des volcans. Cela exigerait une immense production de gaz et de vapeurs, mais M. de Rossi croit à l'existence de nombreux centres d'activité chimique placés au sein des stratifications terrestres, et il y voit l'avantage de pouvoir opposer à *la vieille école* et à son hypothèse d'un noyau incandescent, *l'école moderne*, qui pour des raisons très graves, considère cette hypothèse comme inadmissible.

§ 29. — Au moyen de ses appareils séismométriques et microphoniques, M. de Rossi a dégagé de ses nombreuses observations les trois données fondamentales suivantes :

1° Les fissures des couches terrestres constituent l'appareil de circulation des tremblements de terre et donnent les traces de leur action mécanique;

2° Les mouvements séismiques procèdent par bourrasques périodiques et courants dynamiques;

3° Les vibrations microséismiques font connaître l'entière évolution des phénomènes observés dans les tremblements de terre.

Il en résulterait que l'observateur des forces endogènes pourrait suivre les phases d'un séisme et prévoir ses approches comme le météorologiste prévoit l'imminence d'une tempête.

Le gouvernement italien a établi dès 1883, un observatoire géodynamique avec un bureau d'archives pour y centraliser toutes les informations relatives aux phénomènes endogènes : il en a confié la direction à M. de Rossi. Dès la même année 1883, il existait une cinquantaine d'observatoires séismologiques annexés à ceux exclusivement météorologiques. J'ai pu constater en feuilletant les années du *Bulletino del Vulcanismo italiano de 1883 à 1889* que le nouveau service fonctionnait avec activité, mais je n'ai pas de renseignements sur l'ensemble des résultats obtenus jusqu'à 1894.

CHAPITRE VIII

Résumé général.

§ 30. — Parmi les savants fort nombreux qui se sont occupés de séismes, nous en avons donc choisi douze qui nous ont paru donner une idée exacte de l'état actuel de la séismologie. Voici le résumé de leurs travaux.

Alexis Perrey et M. Delauney ont admis que le noyau central de la terre était liquide, et que dès lors il pouvait avoir des marées soumises à des influences astronomiques, et donnant lieu à des tremblements de terre. Du catalogue qu'il en a rédigé, Alexis Perrey a conclu à l'action prépondérante de la Lune. Il a paru à M. Delauney que le même catalogue montrait la grande part de Jupiter, Saturne et Uranus, à la production des séismes.

M. Daubrée s'est préoccupé du mode de formation de l'énergie décélée par les secousses séismiques : trois circonstances lui semblent nécessaires : des cavités, de l'eau et une haute température pour réduire cette eau en vapeur.

Mallet s'est attaché à établir une théorie mathématique complète destinée à suivre les effets séismiques depuis l'ébranlement superficiel jusqu'à son foyer intérieur. Au moyen d'éléments assez variés, tels que directions de crevasses, murs renversés, objets

jetés à terre, etc., il arrive a déterminer tout ce qui concerne le foyer d'ébranlement.

M. Seebach, pour atteindre le même but, recourt aux temps observés pour une même secousse en des stations différentes; M. Falb utilise au contraire la différence de temps que l'on perçoit entre l'arrivée du son et la sensation de la secousse.

M. Suess, frappé de ce que les mouvements séismiques dans les Alpes orientales suivent les grandes fractures de soulèvement, a émis l'idée qu'il y avait une corrélation entre les tremblements de terre et les forces qui ont formé le relief du sol avec ses montagnes et ses vallées.

M. Fuchs est fort éclectique; il admet une grande variété de causes, mais toutes souterraines; il peut même en exister qui restent à découvrir, et que les progrès des sciences feront connaître.

M. Fouqué accepte les causes souterraines, les températures élevées dans le noyau terrestre, les centres d'ébranlement profonds d'où partent les secousses. Mais il a visité bien des contrées ravagées par les tremblements de terre, et son expérience personnelle l'a rendu sceptique à l'égard des résultats donnés par les théories qui viennent d'être indiquées. En outre, d'après ses propres observations, il ne croit pas que les séismes produisent des bouleversements profonds, et pense, au contraire, qu'il s'agit seulement de mouvements superficiels produits par les secousses.

M. d'Abbadie a constaté un fait très intéressant: celui du frémissement des couches terrestres dont la cause n'était ni astronomique ni thermométrique, et restait à découvrir.

M. de Rossi a étudié, après divers savants italiens, ces mêmes frémissements, et il en a déduit une théorie à la fois nouvelle et originale. Il répudie l'hypothèse du feu central de la terre. Des forces endogènes enregistrées par des appareils spéciaux le mettraient à même d'expliquer tous les phénomènes relatifs à la croûte terrestre, y compris ceux relatifs aux tremblements de terre. M. de Rossi est Directeur d'un service d'observations géodynamiques siégeant à Rome, et centralisant les informations de nombreuses observations séismiques, réparties sur toute l'Italie.

M. Milne est un disciple de Mallet, n'admettant toutefois la théorie de cet auteur que sous bénéfice d'inventaire. Il habite le Japon, qui est une sorte de terre d'élection pour les tremblements de terre, et il est à la tête d'un service séismologique des plus étendus, où l'on fait usage d'appareils très perfectionnés.

TROISIÈME SECTION

DESCRIPTION DE DIVERS SÉISMES

§ 31. — Cette description comprend les tremblements de terre qui suivent :

A. — Lisbonne, 1755;
B. — Calabre, 1783;
C. — Basilicata, 1857;
D. — Ischia, 1883;
E. — Andalousie, 1884;
F. — Menton et Diano Marina, 1887.

A. — Tremblement de terre de Lisbonne.

1er novembre 1755 (fête de la Toussaint).

§ 32. — Les renseignements suivants sur ce fameux tremblement de terre, dont le souvenir est surtout conservé par les contes de Voltaire, sont puisés pour la plupart dans le IIIe volume des *Principes de Géologie* de Lyell (traduction Tullia Meulien), p. 337 et suivantes.

On entendit un bruit semblable au tonnerre. Immédiatement après, une violente secousse renversa la plus grande partie de la ville. En six minutes, 60 000 personnes périrent. La mer se retira d'abord, et mit la barre à sec; puis elle se précipita sur le rivage en s'élevant de 15 *m* et même plus, au-dessus de son niveau ordinaire.

La circonstance la plus extraordinaire qui se soit manifestée à Lisbonne pendant la catastrophe, est l'affaissement d'un quai nouveau, tout en marbre, qui avait été bâti à grands frais. Une multitude de personnes s'y étaient réfugiées, pensant qu'elles étaient à l'abri de la chute des décombres : mais tout à coup le quai s'enfonça, avec tous ceux qui s'y croyaient en sûreté, et l'on ne revit pas un seul cadavre flotter à la surface des eaux. Un grand nombre de bateaux et de petits bâtiments amarrés près de là, et remplis de monde, furent entraînés comme dans un gouffre, et jamais aucun débris n'en reparut à la surface. Suivant quelques auteurs, la sonde dans l'emplacement du quai, n'avait pas encore pu atteindre le fond de la mer. John Whitehurst, savant anglais estimé (1713-1788), publia en 1778 un ouvrage intitulé : *On the*

formation of the earth, où il dit, p. 55, avoir déterminé la profondeur en ce point : il la trouva égale à 100 brasses ou 183 *m*.

Suivant les observations faites à Lisbonne, en 1837, par Sharpe, géologue anglais, les effets destructeurs du tremblement de terre furent limités au terrain tertiaire, et c'est sur l'argile bleue qui supporte la partie basse de la ville, qu'ils se manifestèrent avec le plus de violence. Pas une seule construction, dit-il, reposant sur le calcaire secondaire (à hippurites), et sur le basalte, ne fut endommagée (*Geol. Soc. Proceed*, n° 60, p. 36, 1838).

§ 33. — En dehors et au sud de Lisbonne, le port de Setubal fut englouti.

Les montagnes d'Arrabida, d'Estrella, de Julio, de Marvan et de Cintra furent ébranlées violemment, et pour ainsi dire jusque dans leurs fondations; *quelques-unes d'entre elles s'ouvrirent à leur cime qui fut fendue, et brisée d'une manière vraiment étrange ; d'énormes masses s'en détachèrent et tombèrent dans les vallées situées à leur base.*

En Afrique, le séisme se fit aussi sentir : l'agitation du sol fut violente à Alger et à Fez : à huit lieues de Maroc, une ville et ses huit ou dix mille habitants auraient été engloutis avec tout le bétail qui s'y trouvait : bientôt après, la terre se serait refermée sur eux.

Il y eut des secousses ressenties en pleine mer par des navires, comme s'ils avaient touché un écueil. Une grande vague survint dans les ports de Cadix, Tanger, Funchal (Madère) et Kinsale (Irlande).

Le tremblement de terre de Lisbonne produisit un ébranlement qui se fit sentir pour l'Europe, jusqu'en Écosse et en Allemagne : on ne sait ce qu'il y eut de semblable en Afrique. On ne parle pas de dégâts en dehors du Portugal, pour ce qui concerne l'Europe.

Il n'a été fait aucune enquête pour savoir s'il y a eu quelque part des manifestations volcaniques.

B. — **Tremblement de terre de la Calabre.**

5 février 1783.

§ 34. — J'ai consulté, sur ce séisme, la traduction italienne d'un mémoire mentionné par Lyell, du commandeur Déodat de Dolemieu *(sic)*, sur les tremblements de la Calabre en 1783 (Rome, 1784), que je trouvai à la Bibliothèque Nationale, sous la marque R. 13056.

Notre compatriote Dolomieu, visita la Calabre en février 1884, c'est-à-dire un an précisément après le désastre. Son mémoire est le résultat de ses propres observations et des renseignements qu'il a recueillis lui-même : Dolomieu s'y montre l'observateur remarquable, estimé dans tout le monde savant pour les brillants résultats qu'il obtenait en géologie et en minéralogie par la sagacité des études auxquelles il se livrait dans ses voyages.

Il partage d'ailleurs l'idée admise alors d'une commotion souterraine produisant tous les effets qu'il constate; elle aurait été produite par des gaz venant du foyer intérieur de l'Etna et qui se seraient rendus dans des cavités situées précisément au-dessous des parties ravagées.

Dolomieu se livre toutefois à une enquête minutieuse, pour découvrir s'il existe quelque phénomène volcanique dans la région ébranlée, mais il ne constate absolument rien de semblable, ni dans la plaine, ni dans les montagnes qui l'entourent.

§ 35. — La secousse du 5 février 1783 fut instantanée et imprévue. Rien ne l'annonça ou la fit présager. Aucune circonstance atmosphérique particulière ne fut remarquée. On nota seulement que l'automne de 1782 et l'hiver de 1783 avaient été très pluvieux.

La Sicile fut un peu éprouvée ; à Messine, le sol fut crevassé le long du port, et les maisons des parties basses, établies sur une alluvion marine, furent assez maltraitées, tandis que les parties hautes bâties sur le granit furent relativement épargnées.

La mer n'eut pas de mouvement extraordinaire, excepté près de *Scilla* (Calabre), dans les environs de la montagne de Jaci, dont une masse énorme s'éboula près de la mer : les eaux couvrirent le rivage à trois reprises différentes, et il périt 430 personnes qui se trouvaient réunies en cet endroit, pensant être à l'abri du danger : ce phénomène fut tout à fait local.

§ 36. — Dolomieu distingue trois périodes dans le séisme ; la première, du 5 au 7 février, où les plus grands désastres ont eu lieu, dans la Calabre, à Oppido et Santa-Cristina; la seconde, du 7 février à une heure après-midi jusqu'au 28 mars, où les secousses remontent vers Soriano à 18 ou 20 milles plus haut; la troisième, à partir du 28 mars, dont les effets, amoindris pourtant, remontent encore de 22 à 24 milles plus haut dans l'isthme compris entre le golfe de Santa-Eufemia et celui de Squillace.

Dolomieu insiste sur la nature du terrain formant la plaine ou *Piana* de la Calabre, terrain argileux et sablonneux, sans consistance. Le tremblement de terre a eu pour effet — d'augmenter la densité du terrain, en réduisant son volume par suite d'un tassement naturel — d'établir des talus partout où il y avait des inclinaisons très fortes, — de détacher toutes les masses qui n'avaient pas de base suffisante et n'étaient retenues que par une adhérence latérale. Il en résulta une crevasse large de plusieurs pieds, longue de 9 à 10 milles entre le terrain solide et la partie sablonneuse, — régnant presque sans interruption de San-Giorgio jusque derrière Santa-Cristina, en suivant les contours du terrain stable. Beaucoup de terrains, dans leur mouvement, ont été ainsi transportés bien loin de leur position primitive, et sont venus en recouvrir d'autres avec une exactitude telle qu'il les ont fait disparaître. De nombreux procès s'ensuivirent.

Fissures et crevasses ont traversé les parties hautes dans toutes les directions, mais ordinairement suivant des lignes parallèles aux directions des gorges qui les entourent... Les plus grands désordres survinrent principalement au bord des escarpements. Des portions considérables de terrain couvert de vignes et d'oliviers se détachaient par le manque d'adhérence latérale, et se couchaient en une seule masse dans le fond de la vallée, décrivant des arcs de cercle ayant pour rayon la hauteur de l'escarpement, comme un livre placé de champ qui tombe à plat. Alors la partie supérieure du terrain sur lequel étaient les arbres s'est trouvée entrainée loin de sa première situation, et dans une position verticale : j'ai vu, dit-il, des arbres qui ont continué à vivre, et ne paraissaient avoir souffert en rien, bien que, depuis un an, ils fussent dans une position aussi contraire à la verticalité qui leur est naturelle.

Dans le territoire *d'Oppido* et de *Santa-Cristina* où se trouvent des gorges profondes, les terrains supérieurs sont descendus en grandes épaisseurs parallèles et successivement de manière à former les gradins d'un amphithéâtre, le plus bas étant descendu de 3 ou 400 pieds de sa position primitive. Les arbres et les vignes n'ont pas souffert, ni les hommes qui s'y trouvaient. Le passage des eaux a été obstrué, des lacs se sont formés, le pays a eu une face nouvelle.

Le centre de la *Piana* a été soulevé, la pente des eaux inférieures augmentée, et les eaux supérieures sont restées stagnantes : les sources se sont accrues.

§ 37. — *Terranuova*, petite ville sur une hauteur, entourée de trois côtés de gorges profondes, semblait sur une haute montagne... une partie du sol se détacha et se mut jusqu'aux rives du fleuve *Maro*, en entraînant les maisons qui s'y trouvaient : des fragments de pierre et de bois mélangés avec le sable du corps de la montagne couvrirent un espace considérable de la vallée. Dans la partie opposée, le sol se fend verticalement dans toute sa hauteur; une portion tombe intacte en s'appuyant sur un côté, une moitié reste comme sur le dos, et l'autre partie se couche horizontalement. L'ancien sol supérieur, où étaient les arbres et les maisons, est devenu vertical : inutile de dire qu'il n'y a plus vestige de maisons, les arbres ont peu souffert... Aucun terrain n'a jamais éprouvé un bouleversement aussi grand, une destruction semblable avec des circonstances plus singulières et plus variées... tout est sens dessus dessous.

§ 38. — Je pourrais multiplier ces citations : elles n'apprendraient rien de plus sur la nature des mouvements; j'ajouterai seulement qu'ils se firent sur une échelle gigantesque, car le 5 février, on estima qu'il y avait eu 20 000 personnes ensevelies. Le nombre total des victimes, pendant toutes les secousses, est estimé à 40 000, auquel il faut ajouter 20 000 personnes mortes d'épidémie ou à la suite de privations, ce qui fait un total de 60 000.

Le Dr Pignataro, médecin de Monteleone, enregistra toutes les secousses ressenties dans cette ville : il les divisa en quatre classes, selon leur degré de violence : il en compta 949 en 1783, dont 501 du premier degré de force, et 150 en 1784, dont 98 de la même catégorie.

Les secousses durèrent pendant quatre ans, c'est-à-dire jusqu'à la fin de 1786.

C. — **Tremblement de terre de la Basilicata.**

16 décembre 1857.

§ 39. — Mallet avait coordonné entre eux les divers éléments de la théorie qui a été exposée dans la deuxième partie lorsque survint, à la date ci-dessus, un violent tremblement de terre dans le royaume de Naples; il sollicita et obtint une subvention de la Société Royale de Londres pour aller sur les lieux, observer tous les phénomènes et soumettre sa théorie à l'épreuve de l'interprétation d'un grand désastre.

Il ne tarde pas à se rendre sur les lieux avec des aides et des photographes pour constater tous les faits qui lui sont nécessaires; puis il consigne le résultat de ses investigations dans un ouvrage important formé de deux volumes in-4°, parus en 1862. Voici la traduction de son titre :

Grand tremblement de terre napolitain de 1857. Premiers principes de la séismologie d'observation (observational seismology) *tels qu'ils sont développés dans le rapport à la Société Royale de Londres sur l'expédition faite par ordre de cette Société, dans l'intérieur du Royaume de Naples pour constater les circonstances du grand tremblement de terre de décembre 1857.*

Cet ouvrage contient 341 illustrations lithographiées, tirées de la collection des photographies déposées à la Société Royale, car la photogravure n'était pas encore inventée. Je l'ai trouvé à la Bibliothèque Nationale sous la marque S. 1029.

Mallet y fait l'exposition de sa théorie, et s'adjoint pour la partie mathématique le *Rev. Samuel Haughton,* son collègue à la Société Royale et professeur de Géologie à Dublin, afin d'en rendre les formules aussi pratiques que possible pour les applications auxquelles il se préparait.

Après cette exposition, on peut suivre Mallet dans toutes ses opérations, car il donne des croquis à l'appui de chacune d'elles. Dans tous les endroits habités, il relève si possible, l'heure du premier choc, puis sa direction, les positions des statues et objets divers avant et après ce même choc, etc.

Une fois muni de ces documents, il se procure la meilleure carte qui existe du royaume napolitain, et trace sur elle les directions des plans qu'ont suivi les ondes d'ébranlement : elles ne convergent pas vers un point, mais se coupent dans une certaine région où l'on peut tracer une ligne d'une longueur, d'ailleurs notable, et qui représenterait la trace sur la surface terrestre de la cavité focale d'où proviennent les commotions. Il relève les distances de cette ligne aux diverses localités considérées suivant les directions des ondes, et les reporte sur un diagramme à partir d'un axe vertical en tenant compte des hauteurs des localités au-dessus de la mer; au moyen de l'angle moyen d'émergence qui a été observé, il construit la ligne suivie par l'onde jusqu'à l'axe pris pour origine des distances : il obtient une série de droites qui embrassent sur ledit axe la hauteur qui correspondra à la longueur déjà trouvée.

La cavité focale est alors une fissure courbe dont la hauteur

serait de trois milles géographiques; sa longueur suivant deux flexions de sens contraire serait de neuf milles géographiques (p. 306).

§ 40. — Au moyen de ces données, Mallet calcule les températures des profondeurs sur le taux de 1° Fahrenheit pour 60 pieds, et le nombre d'atmosphères correspondant à cette température, pour la vapeur d'eau, avec l'expression $(1 + 0{,}004\ t)^5$, où t est exprimée en degrés Fahrenheit. Pour mieux juger des choses, notre auteur observe que le calcaire de l'Apennin a une densité égale à 2,70 celle de l'eau étant prise pour unité : il faudra donc une hauteur de 150 pouces anglais (3,75 *m*) pour exercer sur l'unité de surface la pression d'une atmosphère : on connait ainsi facilement la hauteur de calcaire qui ferait équilibre à la pression. J'ai reproduit dans le tableau les chiffres de Mallet en les convertissant en nos mesures usuelles.

TABLEAU N° 1

	PROFONDEURS		TEMPÉRATURE EN DEGRÉS		PRESSION	HAUTEUR correspondante
	en pieds anglais	en mètres	Fahrenheit	centigrades	en atmosphères	en mètres de calcaire
Profondeur minima. . .	16 705	5 090	339	170	8	30
— moyenne . .	34 930	10 730	643	339	149	559
— maxima. . .	49 359	15 870	884	473	684	2 565

On voit que la différence entre les profondeurs extrêmes est de 10 800 *m*; la longueur de la cavité serait trois fois plus grande, soit de 32 400 *m*. Quant à son épaisseur entre parois, aucun fait n'en donne une idée. Mallet estime qu'elle serait probablement très petite.

La pression de 684 *atm* équivaut à une pression de 4,58 *t* anglaises; pour toute la surface de la cavité, cela donnerait d'après Mallet 640 528 millions de tonnes. C'est un chiffre considérable ; Mallet pense cependant que la température de la cavité focale devrait être supérieure à 473° C. et la pression plus forte que 684 *atm*; il invoque les expériences de Boutigny d'après lesquelles une production *soudaine* de vapeur aurait lieu de 500 à 550° C, et pense qu'il en a été ainsi pour le cas qu'il considère.

§ 41. — Parmi les villes, même fortement endommagées, Mallet

en trouve où les secousses, au lieu d'ébranler le sol, ont provoqué des glissements, de sorte qu'il est amené à faire une théorie de ces glissements qui existeraient dans les secteurs partant de la cavité, et rencontrant la surface de la terre d'une façon telle que la pesanteur vint ajouter son action efficace à celle du choc.

Dans le chapitre XVIII, p. 362, tome II, Mallet examine les *Effets secondaires produits par le passage du choc*, qui sont d'après lui :

1° Les glissements de terre et leurs crevasses ;

2° Les fissures dans le roc et la chute des parties désagrégées ;

3° Les altérations des cours d'eau, conséquence de l'un des deux phénomènes précédents ou des deux à la fois.

Il est d'avis que les fissures dans la terre ne se forment que dans le cas où cette dernière n'est pas soutenue sur un de ses côtés. Il trouve contre nature *(untrue to nature)* de dire, comme il est arrivé à certains auteurs, que le mouvement ondulatoire des secousses occasionne dans le terrain des efforts de tension amenant des ruptures qui deviennent les fissures si fréquemment constatées.

Aucune onde séismique, avec une amplitude n'excédant pas 15 à 18 *cm* au plus, ne pourrait produire un tel effet; cette amplitude fût-elle accrue dans la proportion de l'intensité d'un séisme du Sud-Amérique à celle d'un séisme napolitain, c'est-à-dire de 5,33 à 1 soit 0,90 en moyenne (chiffre qui n'a probablement pas été atteint dans les temps historiques) une fissure de 25 *mm* de largeur ne pourrait être produite par une action directe de tension ou autre.

D. — Tremblement de terre d'Ischia.

28 juillet 1883.

§ 42. — L'île d'Ischia a été le siège d'une vingtaine de tremblements de terre depuis le commencement du xixe siècle jusqu'en 1882, en y comprenant ceux qui consistaient seulement en quelques légères secousses; mais ils ne se font point sentir dans la région du Vésuve; ils sont remarquablement localisés. Cette île est de formation volcanique; au centre se trouve le mont Epomeo qui s'élève à 792 *m* au-dessus du niveau de la mer; du côté sud, il est très abrupt, du côté nord, les inclinaisons sont plus ou moins fortes. Le séisme de 1883 fut très violent; on parle de 1 200 maisons renversées, de 2 313 morts et de 800 personnes

blessées grièvement sur une population de 13200 habitants, et malgré que les désastres fussent limités à la partie nord-ouest de l'île.

Voici ce que je trouve sur les mouvements du sol dans l'ouvrage de M. Fouqué (p. 280) :

« Par l'effet de la secousse, des masses considérables de tuf se sont détachées de l'Epomeo (partie nord); elles ont glissé sur la pente en produisant un nuage de poussière... En beaucoup de points le sol s'est crevassé... Les crevasses les plus importantes ont été observées au-dessus de Fango; leur largeur variait de 50 *cm* à 1 *m*. »

M. Gatta, dans son intéressante ***Sismologia terrestre** (Manuali Hoepli*, Milan 1884), nous donne les renseignements suivants :

« Le terrain, peu de jours après le funeste tremblement de terre, présentait sur les flancs de l'Epomeo des signes évidents d'une violente secousse, car on voyait épars, sur les vignes détruites, des masses de roches et des débris de deux grands éboulements qui se sont précipités des parties hautes. Les murs à sec existant le long des sentiers pour délimiter les propriétés dans la partie voisine du foyer supposé du séisme, tombèrent sans aucune direction particulière. Les débris des mêmes murs situés plus loin de l'épicentre prirent des directions régulières. Sur la route qui va de Casamicciola à Forio et qui est parallèle à la montagne, les murs tombèrent comme s'ils étaient poussés du nord vers le sud, et la terre s'ouvrit en certains points par l'effet d'une poussée dans un sens longitudinal... »

§ 43. — M. Mercalli, professeur de Géologie, ayant soumis le séisme d'Ischia à la théorie de Mallet, a trouvé les résultats suivants relatifs à la profondeur du centre d'ébranlement.

TABLEAU N° 2

Application de la méthode de Mallet par le professeur Mercalli.

LOCALITÉS	DISTANCE À L'ÉPICENTRE	ANGLE D'ÉMERGENCE	PROFONDEUR DU CENTRE d'ébranlement
Casamicciola Marina	1,200 *km*	45°	1,200 *km*
Casamicciola	1,000	45	1,000
Forio	2,500	15	0,669
Fiajano	3,000	30	1,732
Moropane	3,000	25	1,399

On pourrait considérer la profondeur de 1 200 *m* comme une moyenne entre les cinq chiffres du tableau. Elle serait bien faible; le degré géothermique de 30 *m* ne serait plus applicable, puisqu'il conduirait à une température comprise entre 50 ou 60° C. Aussi les savants pensent-ils généralement qu'il s'agit ici d'une éruption avortée; ce tremblement de terre rentrerait alors dans la classe des séismes volcaniques, semblables à ceux constatés dans le voisinage immédiat des volcans, *malgré l'absence complète d'éruption avant ou après.* Il y a eu des modifications dans le régime des fumerolles et des sources thermales de l'île. « Mais il faut avouer cependant, dit M. Fouqué (p. 285), que ces changements ont été trop peu importants pour pouvoir servir de base à une argumentation sérieuse. »

L'épicentre du tremblement de terre aurait la forme d'une ellipse dont le grand axe coïnciderait avec une fracture radiale de l'Epomeo.

Toutefois, en raison de l'étroitesse de cet épicentre et de la violence des secousses radiales, M. Fouqué conclut à ce que le tremblement de terre d'Ischia a été produit sous l'influence d'une poussée explosive, servant ainsi de témoin à une éruption étouffée.

E. — **Tremblement de terre de l'Andalousie.**

25 décembre 1884.

§ 44. — Le soir du jour de Noël, le 25 décembre 1884, à 9 h. 18 m. (heure de Paris) fut ressentie en Andalousie une très forte secousse de tremblement de terre qui occasionna en certains points de vrais désastres. Notre Académie des Sciences résolut d'envoyer sur les lieux des géologues pour étudier les phénomènes qui avaient eu lieu. M. Fouqué fut désigné comme chef de mission : le résultat des investigations effectuées fut consigné dans un Rapport intitulé : *Études relatives au tremblement de terre du 25 décembre 1884 et à la constitution géologique du sol ébranlé par les secousses, par MM. Fouqué et Michel Lévy.* Il est inséré dans les mémoires des savants étrangers pour l'année 1889. Nous en reproduisons plus loin les conclusions. J'extrais d'abord des détails sur les circonstances de ce séisme dans l'ouvrage déjà cité de M. Fouqué.

§ 45. — La partie la plus maltraitée est située de part et d'autre de la Sierra Tejeda, servant de limite aux deux provinces de

Grenade et de Malaga. Au point le plus élevé de cette Sierra qui est une chaîne de montagnes abruptes, se trouve le petit bassin de Zaffaraya d'environ 10 *km* de diamètre, bordé de tous côtés par des crêtes calcaires et n'offrant point d'écoulement apparent aux eaux pluviales qui disparaissent pour former des sources abondantes à l'ouest et au sud de la chaîne.

Dans toute l'étendue de la région dévastée, il n'y a jamais eu d'éruption volcanique; il n'existe même pas de roche éruptive ancienne, mais en revanche le sol a subi des dislocations considérables.

De 1801 à 1862, il y a eu 12 tremblements de terre dans les environs de Grenade dont 4 en 1826; dans la province de Malaga, on en a compté 7 de 1804 à 1860.

L'épicentre du tremblement de terre dont il s'agit a la forme d'une ellipse de 40 *km* de long sur 10 *km* de large. Il comprend le bassin de Zaffaraya dont il a été question et les localités suivantes qui ont été les plus endommagées, et qui, la plupart, étaient devenues inhabitables, ce sont : Canillas de Acetuno et Periana, au sud de la chaîne, Zaffaraya et Ventas de Zaffaraya dans le bassin du Sommet; Alhama, Arenas del Rey et Albuñuelas au nord de la chaîne. Il y aurait relation certaine entre la position du centre d'ébranlement du tremblement de terre et celle des failles qui découpent le sol de l'Andalousie, le grand axe de l'épicentre coïncidant sensiblement avec la principale des failles.

Après le 25 décembre, il y a eu d'autres secousses : le 30 décembre, le 5 janvier 1885, le 13 et le 27 février, le 25 et le 26 mars et le 11 avril. Cette dernière s'est fait sentir dans toute l'Andalousie; elle a duré plusieurs secondes et fut précédée de bruits intenses : des maisons se sont écroulées dans diverses localités.

Dans presque tous les points de la zone centrale, on a senti des secousses verticales suivies de mouvements ondulatoires : on a signalé aussi des mouvements giratoires.

La vitesse de propagation superficielle des secousses n'a pu être déterminée par le défaut de réglage des horloges.

§ 46. — « La secousse initiale du 25 décembre 1884 a été précédée d'un bruit intense comparé par beaucoup de personnes au bruit du tonnerre; dans les localités comprises dans l'épicentre, *il a duré assez longtemps pour que beaucoup de personnes aient eu le temps de sortir de leurs maisons, et même de descendre un escalier de*

deux étages. En plusieurs endroits, le bruit a été séparé de la secousse par un très court intervalle estimé à une ou deux secondes. En d'autres points, le bruit persistait encore au commencement de la secousse. En aucun lieu, quel que fût son éloignement de l'épicentre, on n'a constaté l'arrivée des secousses avant celle du bruit ».

§ 47. — D'après les renseignements officiels, on compte 690 morts et 1 426 blessés dans la province de Grenade, 55 morts et 57 blessés dans celle de Malaga; soit en tout 745 morts et 1 483 blessés. Il y a eu environ douze mille maisons ruinées et six mille plus ou moins endommagées.

A Arenas del Rey, on apercevait seulement quelques murs debout.

« La mauvaise construction des habitations a contribué au désastre : car les maisons bâties régulièrement et en bons matériaux ont en général été seulement lézardées.

» La pente trop considérable du terrain, la mauvaise qualité du sol des fondations ont aussi été une cause de ruines.

» A Alhama, ville importante, les dommages ont été aggravés par le peu de stabilité d'une rangée de maisons édifiées sur le bord d'un ravin.

» La nature géologique du sol a eu une influence manifeste. Les bâtiments élevés sur terrain d'alluvion ont particulièrement souffert; ceux qui étaient édifiés sur des roches sédimentaires peu résistantes, calcaires friables, argiles, etc., ont été aussi très maltraités. Au contraire, ceux qui se trouvaient sur des roches solides, telles que calcaires compacts, ou même sur des schistes anciens, ont été beaucoup plus épargnés, surtout en dehors de la région centrale. Les constructions élevées dans le voisinage immédiat de deux sols de nature très différente, tels qu'un schiste feuilleté et un calcaire cristallin, ou bien encore une argile et un calcaire compact ont beaucoup souffert. »

§ 48. — Dans plusieurs parties de la région ébranlée, les secousses ont amené la production de crevasses profondes.

A Guaro, non loin de Periana, le sol argileux s'est détaché du calcaire voisin et a glissé en masse, laissant sur ces bords un fossé large de 2 à 3 *m*.

A Guevejar, même cause pour une fente semi-circulaire longue de plus de 1 *km*. Au milieu du terrain circonscrit par cette déchi-

rure, le village de Guevejar est resté debout, en subissant un transport commun.

A Ventas de Zaffarraya, fente plus étroite, mais plus allongée, même phénomène de glissement.

En plusieurs points de la Sierra Tejeda, des blocs volumineux se sont détachés et ont roulé en bas de la montagne.

Le débit d'un grand nombre de sources a varié. A Alhama, le volume de la source minérale a augmenté; sa température s'est élevée; elle était seulement alcaline, elle est devenue sulfureuse.

§ 49. — En dehors de l'Andalousie, le tremblement de terre s'est fait sentir dans presque toute l'Espagne sous forme d'un léger frémissement.

En Italie, les appareils séismographiques de Rome, Velletri et Moncalieri ont signalé des mouvements du sol.

On a observé des perturbations dans les appareils magnétiques de Lisbonne, Greenwich et Wilhemshafen qu'on a pu comparer avec l'heure de la secousse très nettement ressentie à l'observatoire de San-Fernando près de Cadix, seule indication rigoureusement exacte que l'on possède sur l'heure du phénomène. L'observation de Lisbonne donne une vitesse de 3600 *m* par seconde, celle de Greenwich une vitesse de 4500 *m* et celle de Wilhemshafen 3100 *m*.

« Il est difficile, dit M. Fouqué, de donner une interprétation logique à ces chiffres très élevés. »

§ 50. — Le Rapport de mission présenté à l'Académie des Sciences par MM. Fouqué et Michel Lévy tout en donnant les détails nécessaires sur le tremblement de terre, contient aussi un exposé détaillé des méthodes de Mallet, de Seebach et de Falb. Il est dit dans une note de la page 52, que cet exposé a été fait pour manifester hautement la direction dans laquelle les auteurs dudit Rapport auraient voulu diriger leurs recherches et le but qu'ils s'étaient proposé en acceptant la mission de l'Académie.

Cette observation fera mieux comprendre les conclusions du rapport que je reproduis ci-après textuellement :

Conclusions.

« Des considérations présentées ci-dessus, il suit que les données sismiques observées sont insuffisantes pour conduire à des résultats certains, en ce qui regarde la vitesse de propagation des

secousses et la profondeur du centre d'ébranlement. C'est donc avec doute que nous avons donné pour la vitesse le chiffre de 1 600 *m* et celui de 11 *km* pour la profondeur du centre d'ébranlement déduit du nombre de secondes compris entre l'arrivée du bruit et celui de la secousse.

» Ce qui ressort le plus clairement de notre étude, c'est la relation entre la distribution des phénomènes sismiques et la constitution géologique de la région qui en a été le siège. C'est pourquoi nous avons attaché une importance capitale à la partie géologique de notre travail.

» Cette manière de voir justifie l'étendue que nous avons cru devoir donner à l'une des portions de notre tâche.

» Quant aux considérations théoriques sur la cause des tremblements de terre, à peine si nous les avons effleurées, ne croyant pas avoir entre les mains des observations suffisantes pour appuyer ou contredire efficacement les hypothèses qui ont été proposées. »

La partie géologique du travail ne comprend pas moins de 5 mémoires ou études par MM. Barrois et Offret, — Michel Lévy et Bergeron, — Bertrand et Kilian.

Ce sont des travaux remarquables par les vues d'ensemble qu'ils contiennent, comme par le soin donné à l'examen des détails.

F. — **Tremblement de terre de Menton et Diano Marina.**

23 février 1886.

§ 51. — Ce tremblement de terre s'est étendu de Cannes à Gênes qui ont été sensiblement indemnes de tout dommage. Il a eu lieu le matin du mercredi des Cendres, comme un autre arrivé en 1752.

Voici des indications générales que j'extrais de l'ouvrage de M. Fouqué.

Ce séisme de 1886 a eu trois séries de secousses distinctes dans toutes les localités de la zone centrale (p. 311). La première a été la plus violente; les oscillations se succédaient très rapidement, au plus à 1 ou 3 dixièmes de seconde d'intervalle.

La région épicentrale se serait étendue de Menton à Oneglia sur une longueur de 55 *km* et une largeur perpendiculaire au rivage ne dépassant pas 30 *km* (p. 30). La seconde courbe isoséiste

s'étendrait de Nice à Gênes sur une longueur de 190 *km* avec une largeur d'environ 50 *km*.

Du côté de la mer, il y a eu des navires qui ont ressenti une secousse ; le marégraphe enregistreur de Nice a donné un changement de niveau réduit à 55 millimètres : toutefois, il y a eu un phénomène très net et qui mérite d'être noté, c'est la rupture subite, en deux points distincts, du câble télégraphique sous-marin installé entre Antibes et la Corse (p. 32).

§ 52. — Aux indications de l'ouvrage sur *les Tremblements de terre* de M. Fouqué, je vais ajouter pour les renseignements de cet article, celles de deux articles de M. Stanislas Meunier, l'un dans le *Bulletin de la Société Géologique de France*, année 1886-87 (4 avril 1887, p. 459) et l'autre dans la *Revue Scientifique* du 23 juin 1894.

Cannes et Antibes sont indemnes. Les dommages commencent à Nice où la ville neuve bâtie sur alluvion, a beaucoup souffert : on y a constaté beaucoup de crevasses et d'effondrements, tandis que la vieille ville et les hauteurs de Cimiez sont presque intactes.

Ensuite existe une zone épargnée comprenant Monaco (massif rocheux).

On arrive à Menton qui a été très éprouvée dans une partie seulement ; dès qu'on passe des bords du Caréi à la vieille ville, les maisons en parfait état succèdent aux décombres.

Une large zone comprenant Vintimille, Bordighera et San Remo a été épargnée, sauf le triste désastre de Bajardo dont je parlerai plus loin.

Le maximum des désastres a eu lieu de San Remo à Albenga ; on y rencontre les vallées de Taggia, Porto Maurizio (partie basse), Diano Marina, Diano Castello et Cervo qui ont beaucoup souffert. A Diano Marina, tout est bouleversé, même les petits murs mitoyens des champs qui, vu leur peu de hauteur, ont partout mieux résisté que les autres constructions ; ce désastre est encore attribué à un sol alluvial de faible épaisseur reposant sur un terrain ancien, parce que non seulement les maisons anciennes ou mal bâties ont été renversées, mais les édifices bien construits ont eu le même sort. Diano Castello situé à 2 *km* plus haut vers la montagne a été sensiblement moins ravagé que Diano Marina ; et, dans une autre localité plus haute encore, le dommage est relativement faible.

La ville d'Albenga, dans la vallée du Centa, a été assez éprouvée.

La plage de Loano est indiquée comme n'ayant pas souffert, tandis que celle de Noli a été atteinte.

Viennent ensuite les plages de Vado et Savone où quelques dégâts sont signalés; mais à 4 *km* seulement de Savone, se trouve Albissola, a l'embouchure du torrent Sansobbia. Cette localité, qui a été la dernière étape du séisme, fut très éprouvée. Le chemin de fer et la route nationale voisine ont été crevassés; le pont sur le Sansobbia s'est écroulé, mais on y voit, comme dans toutes les autres localités, les ruines disparaitre en même temps que le sol s'élève.

§ 53. — M. Stanislas Meunier explique ces localisations des désastres dans les parties basses et voisines de la mer, de la façon suivante :

Dans les deux articles précédemment cités, il a dressé une carte du littoral où il a indiqué par des hachures les localités les plus éprouvées. Il trouve qu'elles sont réparties avec une symétrie à laquelle se prête d'ailleurs la petitesse de la carte qui n'a que que 7 *cm* de largeur. « Un coup d'œil sur la carte, fait penser, dit-il, dans son dernier article de juin 1894, à l'effet que produit sur une corde tendue, *une vibration musicale* : les localités ruinées correspondent à des *ventres* de vibration, et les localités épargnées à des *nœuds*.

» On peut rattacher à cette division de la surface du sol en une série de *nœuds* et de *ventres* alternatifs, la remarque faite par Humboldt que durant certaines secousses désastreuses à la surface, des galeries de mines à des profondeurs convenables, sont à peine agitées. Il se fait alors comme des figures nodales à trois dimensions.

» Ajoutons que la division elle-même de la surface de la terre en zones alternativement tranquilles et agitées peut être constatée, en dehors de tous tremblements de terre, dans le voisinage d'usines où des mouvements de trépidation sont déterminées par les machines en marche continue. »

M. Fouqué explique tout autrement ces localisations (p. 322). Il fait observer que dans le tremblement de terre de l'Andalousie, les désastres étaient cantonnés au sommet des montagnes, tandis que les vallées seules ont été atteintes dans le cas qui nous occupe. La raison de cette différence proviendrait de la configuration du sol combiné et avec sa constitution géologique. De la chaine des Alpes-Maritimes, parallèle au rivage de la mer, se détacheraient des contreforts de roche solide formant des vallées transversales,

il s'y accumulerait des sols meubles favorisant le développement du fléau. De là les intensités inégales.

§ 54. — J'arrive maintenant au triste désastre de Bajardo, bourgade située à l'altitude de 900 *m* dans la montagne de San Remo, à quelques kilomètres du littoral : il semblerait que, dans ces conditions, elle aurait dû être exemptée de tout malheur. Pourtant, l'église s'est effondrée à la première secousse ; les murs de la nef en se disloquant sont tombés avec la voûte, en écrasant 224 assistants parmi les 300 qui s'y trouvaient réunis pour recevoir les cendres. Le chœur a résisté : le clergé et les officiants y sont restés sains et saufs. On a attribué ce fait à la mauvaise construction de la nef ; ses murs composés de mauvais matériaux auraient dû être consolidés par des tirants en fer pour arriver à supporter une lourde voûte.

§ 55. — La multiplicité des appareils séismographiques ou l'arrêt d'horloges a permis de calculer la vitesse superficielle de propagation des secousses depuis l'épicentre jusqu'à un certain nombre de localités de l'Italie, et même de France et de Suisse. Divers résultats sont réunis dans le tableau suivant n° 3 : ils sont en contradiction avec la théorie qui semble pourtant fondée sur le bon sens, d'après laquelle les vitesses doivent décroître avec les distances.

TABLEAU N° 3

Vitesse superficielle de propagation des secousses.

LOCALITÉS ET OBSERVATEURS 1	DISTANCE kilométrique à L'ÉPICENTRE 2	HEURES des SÉISMOGRAPHES ou des OBSERVATIONS directes 3	VITESSE MOYENNE superficielle 4	ERREUR possible pour UNE MINUTE d'erreur 5
		h. m. s.		
Gênes (Lasagna)	100 *km*	5,41,25	500 *m*	130 *m*
Florence (Bertelli)	270	5,45,25	610	90
Moncalieri (Denza)	75	5,41,15	450	120
Plaisance (d'après Denza) . .	190	5,42,25	670	100
Bologne (Caturegli)	280	5,42,15	1 100	180
Verone (Goiran)	300	5,43,25 (*)	920	100
Venise (Jono)	400	5,44,25	1 040	140
Genève (Soret)	300	5,42,45	1 050	180
Morges (Forel)	320	5,44,10	870	130
Berne (Forster)	340	5,43,50	970	140

* Heure d'une horloge arrêtée par la secousse.

Dans la colonne 4 sont les vitesses de propagation superficielle déduite pour chaque point de sa distance à la partie moyenne de l'épicentre et du temps écoulé entre l'instant d'arrivée de la secousse en ce point — et à Menton 5 h. 38 m. La colonne 5 donne l'erreur produite en chaque cas par une différence de 1 minute dans la détermination de la différence des heures.

Le tableau n° 4 donne des chiffres concernant les heures des perturbations magnétiques et leurs vitesses de propagation qui s'en déduisent : elles sont beaucoup moins fortes que celles de l'Andalousie.

TABLEAU N° 4

Vitesse superficielle de propagation des perturbations magnétiques.

LOCALITÉS ET OBSERVATEURS	DISTANCE kilométrique A L'ÉPICENTRE	HEURE des PERTURBATIONS	VITESSE MOYENNE superficielle	ERREUR possible pour DEUX MINUTES de différence
		h. m. s.		
Lyon (André)	320	4,45,00	760 *m*	170
Parc Saint-Maur (Moureaux) Montsouris (Descroix) . . .	720	5,45,00	1 710	380
Bruxelles (Lancaster). . . .	800	5,49,00	1 210	210
Kew (Whipple)	1 020	5,47,21	1 820	170
Wilhemshafen (Eschenhagen)	1 000	5,50,00	1 390	200
Joao Capello (Lisbonne). . .	1 500	5,49,30	2 070	220

M. Fouqué a essayé d'appliquer la méthode de Seebach pour déterminer la profondeur du centre d'ébranlement. Le chemin de fer de P.-L.-M., celui du littoral ligure, les observatoires nombreux et voisins semblaient réunir les conditions les plus favorables pour y arriver. Les résultats ont été tellement incohérents qu'il a dû y renoncer (p. 101).

Toutefois, M. de Lapparent nous dit dans son *Traité de géologie*, (p. 538 et 539), que, d'après MM. les professeurs Taramelli et Mercalli, l'épicentre serait en un point situé à 20 *km* en mer, au sud de Porto-Maurizio, à une profondeur de 18 *km*.

DEUXIÈME PARTIE

OBSERVATIONS ET CRITIQUES SUR LES FAITS QUI PRÉCÈDENT

§ 56. — *Préambule.* — Si nous réfléchissons à tout ce qui vient d'être exposé, nous constaterons que les études très sérieuses et souvent très remarquables, concernant les tremblements de terre, aboutissent simplement à déterminer sur une carte un épicentre, et à calculer la profondeur du centre correspondant des secousses. On n'a donc poursuivi qu'une satisfaction théorique qui n'a fourni aucune conséquence pratique et utilisable.

C'est en définitive de la théorie pure, qui ne comporte aucune vérification possible et qui permet par conséquent d'élever des doutes sur son exactitude.

Dans ce qui suit, nous allons reprendre l'examen des tremblements de terre déjà décrits pour les étudier en bannissant toute théorie préalable, en portant notre attention sur les phénomènes les plus saillants, sans y chercher une cause déterminée d'avance : mais nous indiquerons les recherches et observations qu'il nous paraîtrait utile de faire pour élucider quelques-unes des questions soulevées par les phénomènes constatés.

Nous commencerons toutefois par examiner la question des degrés géothermiques sur laquelle reposent toutes les théories, excepté celle de M. de Rossi ; nous passerons ensuite aux circonstances les plus importantes des séismes, nous terminerons enfin par une appréciation sommaire des diverses théories émises jusqu'ici.

CHAPITRE PREMIER

Degré géothermique.

§ 57. — On admet généralement que la température intérieure du globe augmente à partir d'une certaine zone, variable suivant chaque pays, en raison d'un degré centigrade pour chaque enfoncement de 30 *m* (voir § 3 des définitions). Cette question relève exclusivement de l'expérience. Elle ne peut être résolue que par l'observation des températures souterraines en utilisant tous les moyens qui sont à notre disposition, tels que mines exploitées avec leurs puits, descenderies et galeries, puits et sondages pour recherche d'eau ou autres substances.

J'ai réuni dans le tableau suivant n° 5 les degrés géothermiques *moyens* qui se trouvent dans le *Traité de géologie* de M. de Lapparent (édition de 1893), et dans l'article sur la géologie de l'*Encyclopædia Britannica*, rédigé par M. Geikie. J'y ai ajouté quelques chiffres donnés dans l'ouvrage sur *les eaux souterraines actuelles* par M. Daubrée, et, dans celui de Mallet sur le *tremblement de terre napolitain* de 1857. Les divers degrés sont marqués dans le tableau des lettres L, G, D et M suivant l'auteur dont ils proviennent.

Ajoutons qu'on appelle *degré géothermique moyen*, celui qui est obtenu en utilisant la température au point où elle est invariable et celle à l'extrémité inférieure du puits ou sondage, sans tenir compte des températures intermédiaires. (Voir tableau 5, p. 681).

§ 58. — *Classement des degrés par ordre de grandeur*. — Ces degrés géothermiques varient de 2 *m* à 114 *m*. Voyons à opérer un premier classement parmi eux.

Sur les 44 numéros, nous en avons un, n° 27, indiqué comme douteux ; puis le chiffre de 2 *m* qui répond au Sahara (n° 43) s'explique naturellement par cette circonstance et pour des profondeurs faibles : nous le mettrons de côté. Les 10,50 *m* du sondage de Neuffen (n° 29) semblent provenir du voisinage de volcans éteints, attestés par l'existence de basaltes. Les sources chaudes, si fréquentes en Toscane, expliquent les 13 *m* du puits de Monte-Massi (n° 16).

Il nous reste 40 numéros qui se décomposent comme suit :

9	degrés géothermiques	de 15 *m* à 23 *m* ;
19	—	de 26 *m* à 34 *m* ;
12	—	au-dessus de 34 *m*.

Les 19 qui sont si voisins de 30 *m* viennent légitimer l'adoption d'un tel chiffre.

Les 9 degrés de 15 *m* à 23 *m* correspondent généralement à de faibles hauteurs ; les 12 supérieurs à 34 *m*, à de grandes, de sorte que ce serait un indice d'augmentation du degré géothermique avec la profondeur.

Notons ici que le sondage n° 32 de Buda-Pesth, de 970 *m* de profondeur, a donné jusqu'à 940 *m* un degré géothermique de 30 *m* environ, mais, que dans les 40 derniers mètres, la température a passé de 43° à 74°, soit un accroissement de 31°. On était arrivé à une véritable source thermale.

Tableau n° 5. — *Degrés géothermiques moyens.*

N°s d'ordre	Localités	Observateurs	Sources	Profondeur	Degré géothermique moyen	Observations
	France					
	1° Mines et Houillères.					
1	Poullaouen	D'Aubuisson	L	»	21,50	5 sept. 1806.
2	Decize	Cordier	L	»	15,33	De 1822 à 1825.
3	Littry	Id.	L	»	19,20	De 1822 à 1825.
4	Anzin : 1er puits Chabaud-Latour	De Marsilly	L	200	26,73	
5	— 2e puits —	Id.	L	185	20,67	
6	— 3e puits —	Id.	L	144	15,36	
7	— Puits Renard	Id.	L	135	15,45	
	2° Sondages.					
8	La Rochelle	»	L	126	20,10	
9	Saint-André (Eure)	»	L	253	30,95	
10	Mouillelonge (Creuzot)	»	L	816	30,70	
11	Torcy (Creuzot)	»	L	354	30,70	
12	Grenelle (Paris)	Arago, Dulong, Walferdin	L	548	31,80	
13	La Chapelle (Paris)	Lippmann	G	660	52,50	
	Belgique					
14	Houillères diverses	Houzeau	L	»	34 »	
	Suisse					
15	Sondage près de Genève	»	G	»	30,10	
	Italie					
16	Puits de Montemassi	Pilla et Bunsen	L	348	13 »	
17	Puits artésien de Naples	»	M	445	114 »	Au Palais-Royal.
18	Puits artésien de Naples	»	M	277	45,50	Au Largo Vittoria.
	Saxe royale					
19	Mines de Freyberg : Bestchestgluck	D'Aubuisson	L	300	32 »	1802.
20	— Himmelfurst	Id.	L	250	30 »	1802.
21	Junghobebirke	Id.	L	315	30,50	1802.
22	Mines diverses	Reich	L	»	42,50	
23	Mines diverses	Administration des Mines	L	»	55,50	Moyenne entre 16 et 118 m.
	Saxe prussienne					
24	Sondage d'Artern	»	L	333	40 »	
25	Sondage de Schladebach	»	L	1 748	37 »	Calculé de 66 à 1716 m.
	Prusse					
	1° Environs de Berlin.					
26	Sondage de Rudersdorf	»	L	220	30 »	
27	Sondage de Sparenberg	»	L	1 269	douteux	
	2° Westphalie.					
28	Sondage de Neusalswerk	»	L	644	29,20	
	Wurtemberg					
29	Sondage de Neuffen	»	L	385	10,50	
	Luxembourg					
30	Sondage de Neudorff	»	L	502	31,04	
	Hongrie					
31	Mine de Schemnitz	Schwartz	L	1 587	41,40	
32	Sondage de Budapesth	»	D	970	30 »	Moyenne jusqu'à 930 m.
	Grande-Bretagne					
33	Mines de Cornwall	Lean	L	366	31 »	1815, cuivre et étain.
34	—	Henwood	L	»	53 »	Minimum 19.
35	Houillères de Cumberland, Durham et Northumberland	Robert Bald	L	»	20,80	Moyenne de 15,5 à 26,2.
36	Houillères de Newcastle	Phillips	L	»	33 »	
37	— Manchester	Hodgkinson	L	»	39 »	
38	— Manchester	»	G	622	45,60	
39	— Rose-Bridge	»	G	745	30 »	La plus profonde de l'Angleterre
40	South Belgray	»	G	160	22,50	
41	Kentish town (Londres)	»	G	335	30 »	Puits artésien dans l'argile de Londres, la Craie et le Gault.
	Pays divers					
42	Asie. Sibérie : puits à Yakoutsk	»	G	200	32,90	Calcaire et granit.
43	Afrique. Puits artésien du Sahara	»	D	»	2 à 15	
44	Sud-Amérique. Brésil : Minas Geraes	Henwood	L	»	53 »	Maximum 86 m.

Classement par profondeurs. — Il faut prendre en très sérieuse considération la profondeur des points qui ont fourni les degrés. Nous en avons 13 où elle n'est pas indiquée, ce qui est une lacune regrettable ; ensuite, il y en a :

9 où elle est moindre que 250 *m*;
11 entre 250 *m* et 500 *m* ;
8 entre 500 *m* et 1 000 *m* ;
3 de 1 200 *m* à 1 748 *m*.

Les trois dernières profondeurs sont les seules sérieuses, bien que très faibles encore, eu égard aux 6 371 000 *m* de rayon moyen de la terre, c'est-à-dire environ $\frac{1}{4\,000}$.

Nous les examinerons plus loin.

Classement par situation géographique. — Nous devons aussi tenir compte de la répartition des mêmes points sur le globe terrestre ; la presque totalité se trouve dans une zone bien restreinte ; car nous avons :

En Europe : Grande-Bretagne	9
Région centrale comprenant la France, la Belgique, la Prusse, la Saxe, la Hongrie, etc.	29
Italie	3
Total pour l'Europe	41
En Asie : Sibérie.	1
En Afrique : Sahara (région toute spéciale)	1
Dans le Sud-Amérique : Brésil.	1
Ensemble.	44

Qui sait quelles surprises nous ménagent l'Asie Centrale, l'Afrique encore inexplorée en bien des parties, le Nord-Amérique avec le cachet d'outrance et d'étrangeté de tout ce qu'il nous envoie, les îles du Pacifique et l'Australie ? Quelle minuscule portion du globe a été soumise à notre examen ?

§ 59. — Pour que les observations des températures souterraines soient utilisables, il est nécessaires qu'elles remplissent les conditions suivantes :

1° Il faut d'abord qu'il ne s'agisse pas d'une région exceptionnelle comme celles situées dans le voisinage immédiat des volcans ou des sources thermales ;

2° Les divers terrains ont évidemment des conductibilités différentes pour la chaleur : on ne peut assimiler, sous ce rapport, un granit compact avec des sables où circulent des eaux. M. Geikie, dans l'article déjà cité, donne les chiffres suivants : Si la résistance au passage de la chaleur est de 114 pour le quartz blanc opaque, elle est de 273 pour le basalte et de 1 538 pour la houille, soit plus de treize fois celle du quartz. En outre, la conductibilité peut varier de 1 à 4, suivant que les roches sont traversées dans le sens de la stratification ou normalement ;

3° Quand il s'agit de galeries souterraines accessibles au courant de l'air, il faut prendre des précautions spéciales pour avoir la température intérieure et réelle de la roche, abstraction faite des variations que peuvent produire le courant d'air et les saisons dans la roche ;

4° S'il s'agit au contraire de sondages avec sources d'eau, il parait bien difficile d'obtenir, en chaque point, la température de la roche, qui se trouve naturellement modifiée par celle de ces eaux ;

5° Pour se rendre compte de ce que peuvent être les températures à de grandes profondeurs, il est inadmissible de recourir à de grandes moyennes : il faut connaître la température à diverses profondeurs, et puis examiner leurs variations au moyen d'une épure ou du calcul des degrés géothermiques successifs, afin de savoir si l'augmentation de chaleur affecte l'allure d'une ligne droite ou d'une courbe concave ou convexe.

Pour mieux le faire voir, j'ai réuni dans le tableau n° 6 quatre séries de températures observées : la première est relative au puits de Grenelle ; elle a été recueillie par Arago, Dulong et Walferdin : les degrés géothermiques calculés laissent dans le doute ; on ne parle pas de précautions prises pour éviter le mélange des eaux des niveaux supérieurs.

La seconde se rapporte au puits le plus profond des houillères d'Angleterre, mentionné par M. Geikie dans l'article déjà cité : il est probable que l'examen des terrains traversés rendrait compte des variations des degrés géothermiques.

Les deux dernières vont être examinées dans le paragraphe suivant.

§ 60. — Il nous reste en effet à examiner les degrés géothermiques des trois plus grandes profondeurs atteintes.

Les mines de Schemnitz (Hongrie) ont 1 588 *m* de profondeur ;

TABLEAU N° 6

GRENELLE (PARIS)			ROSE BRIDGE (WIGAN)			SPERENBERG			SCHLADEBACH		
PROFONDEUR	TEMPÉRATURE	DEGRÉ géothermique	PROFONDEUR	TEMPÉRATURE	DEGRÉ géothermique	PROFONDEUR	TEMPÉRATURE	DEGRÉ géothermique	PROFONDEUR	TEMPÉRATURE	DEGRÉ géothermique
248 *m*	20°	22°8	510 *m*	25°5	21°	219,70 *m*	21°59		66 *m*	12°00	35°3
298	22,2	65,8	533	26,6	25,3	282,47	23,48	25°9	216	16,25	
400	23,75	39,2	576	28,3	27,2	345,24	26,43	136,6	366	19,25	40,0
505	26,43	33,8	606	29,4	32,5	408,01	26,89		516	23,75	
548	27,70		671	31,4	23,7	470,78	29,10		666	27,50	38,7
			709	33	28,75	533,55	30,93	28,1	816	31,50	
			732	33,8	21,66	596,32	33,13		966	36,625	34,3
			745	34,4		659,09	35,84	37,8	1 116	40,25	
						1 063,95	46,55	72,6	1 266	45,25	29,3
						1 268,59	49,37		1 466	50,50	
									1 566	53,50	49,0
									1 716	56,625	

je n'ai trouvé aucun détail sur la progression de la chaleur entre le sol et la partie inférieure.

Il reste donc seulement les deux sondages les plus profonds, qui sont naturellement les plus intéressants.

J'extrais les renseignements suivants relatifs au sondage de Sperenberg de l'article de M. Voisin, Ingénieur des Mines, inséré dans les *Annales des Mines* de 1873.

Sperenberg est un village du cercle de Postdam (Prusse), à 40 *km* sud environ de Berlin.

Le gouvernement prussien y fit commencer en avril 1867, un sondage pour étudier un gisement de sel gemme. On trouva d'abord du gypse ; à 87,40 *m* on atteignit une couche d'anhydrite (chaux sulfatée anhydre) puis à 88,80 *m* on arriva à la masse de sel qu'on ne quitta plus jusqu'à 1 271,60 *m* soit sur 1 182,80 *m* sans que rien n'indiquât si l'on approchait de la limite du gisement. Le terrain traversé est donc homogène et les résultats en acquièrent une plus grande importance.

Les chiffres du tableau n° 6 sont extraits du tableau n° V de M. Voisin, en y ajoutant une température à 1 268,59 *m* qui n'est pas certaine, mais qui a tous les caractères d'une grande probabilité.

De 345 à 408, sur 63 *m* environ, le degré géothermique atteint 136,6 *m* ; puis de 408 à 659 il tombe à 28, mais il se relève à 37,80 pour les 405 *m* qui précèdent la profondeur de 1 064 *m*. Si l'on s'en tient là, l'application de la méthode des moindres carrés pour trouver la relation entre la température T en degrés centigrades et la profondeur S en mètres, a conduit à la formule suivante :

$$T = 8{,}975 + 0{,}004\,075\,614\ S - 0{,}000\,000\,123\,820\ S^2$$

L'application de semblables relations avec douze décimales est certainement hors de propos ; je ne la cite que pour faire remarquer le terme négatif qui viendrait prouver que *la température du globe augmente de moins en moins vite à mesure que la profondeur s'accroît.*

Mais si l'on tient compte de l'intervalle compris entre les profondeurs 1 063,95 à 1 268, 59, qui correspond à une différence de 2° 82 pour 204,64 *m*, on arrive au degré géothermique final de 72,6 *m* !

Le sondage fut terminé en octobre 1871. La publication des résultats eut un grand retentissement. M. Carl Vogt s'écria à la session de l'Association française à Lyon que *la croyance à la chaleur*

centrale n'était plus qu'un avatar de l'ancien mythe du Tartare de l'Iliade, où les coupables subissaient leur punition après leur mort. M. Mohr écrivait que cette croyance était *cruellement anéantie* par les résultats de Sperenberg.

Il est certain que cette croyance est fortement ébranlée; mais c'est le cas de rappeler le proverbe italien, qu'une seule fleur ne fait pas le printemps et qu'il ne faut pas se hâter de conclure.

Il est à noter que l'on s'est servi pour les observations thermométriques, d'obturateurs en caoutchouc pour éviter le mélange des eaux supérieures avec celles des fonds.

Peu d'années après le sondage de Sperenberg, un autre était entrepris à Schladebach dans la Saxe prussienne et arrêté à la profondeur de 1 748 *m*, laquelle dépasse de beaucoup toutes celles atteintes jusqu'ici. La température à 1 716 *m* qui a été la dernière observation thermométrique obtenue, a été trouvée de 45° 3 R, soit 56° 625 C. On avait constaté 12° C à 66 *m*, de sorte qu'on obtient de 66 à 1 716 *m* un degré moyen de 37 *m*. Mais ce chiffre est sans intérêt à côté de la série des températures obtenues tous les 30 *m*, en prenant les précautions nécessaires pour qu'elles soient aussi exactes que possible. M. Dunker les a publiées dans le *Neues Jahrbuch* de 1889. C'est de cette publication qu'ont été extraits les chiffres du tableau n° 6 où figurent seulement les températures espacées de 150 *m*; après en avoir fait une épure, j'ai constaté que l'on pouvait se contenter de calculer les degrés géothermiques pour les intervalles de 300 qui sont inscrits au tableau. Le minimum est de 29,3 et le maximum de 49 *m*, qui est précisément le dernier. Nous avons donc une nouvelle confirmation de l'augmentation du degré géothermique avec la profondeur.

Les roches traversées ont été successivement le grès bigarré, le zechstein, le grès rouge, le terrain houiller et le devonien supérieur. Cette nomenclature fait regretter que l'on ne se soit pas livré à l'étude de la conductibilité de ces divers terrains, et que l'on n'ait pas cherché à voir quelle relation existait entre cette conductibilité et les températures observées.

§ 61. — Reportons-nous au tableau n° 5 des différents degrés géothermiques afin de nous faire une idée de la valeur des chiffres qu'il contient en tenant compte des réflexions précédentes.

Chacun de ces degrés devrait être examiné avec rigueur en se reportant autant que possible aux mémoires d'où ils sont extraits pour s'assurer des conditions dans lesquelles les températures ont

été observées. Beaucoup de ces mêmes degrés devraient être considérés comme douteux. Parmi eux, serait le chiffre de d'Aubuisson sur Poullaouen qui résulte de températures relevées le 5 septembre 1806, en un seul jour par conséquent, correspondantes à des eaux stagnantes ou des galeries abandonnées. Il en est de même des chiffres de Freyberg, obtenus par le même opérateur. Les chiffres des houillères de l'Angleterre données par Lean, correspondent aussi à l'air ou l'eau. Les observations thermométriques ont eu lieu en juin 1815 et décembre 1815; elles diffèrent chaque fois pour les mêmes profondeurs. Celles de Robert Bald correspondent à l'air seulement. Ces exemples suffisent pour montrer que tous les chiffres constatés dans les vingt ou trente premières années du siècle et relatifs aux mines, sauf exception spéciale, méritent assez peu de confiance.

Pour les sondages, nous savons combien la détermination exacte des températures est difficile; ce n'est que dans ces dernières années qu'on a pris des précautions spéciales: peut-être ne sont-elles pas d'une efficacité absolue : les chiffres relatifs au puits de Grenelle laissent bien des doutes.

Il y a des cas tout à fait spéciaux, et parmi eux les degrés géothermiques des puits artésiens de Naples, dont l'un est le maximum du tableau, méritent de nous arrêter.

Mallet les a recueillis en allant explorer la Basilicata, et en cherchant à se rendre compte de l'augmentation de la température souterraine dans les parties non éloignées de cette province. On lui avait signalé précisément deux puits artésiens dans la ville de Naples, distants d'un mille, l'un au Palais royal, de 1 460 pieds anglais (445 *m*) avec un degré géothermique de 208 pieds par degré Fahrenheit (154 *m* pour 1° C) et l'autre de 909 pieds (277 *m*) au Largo Vittoria, avec un degré de 83 pieds (45, 50 pour 1° C). Le rapport des deux degrés est de 1 à 2,4, à la fois étrange et considérable pour deux puits voisins. Leurs valeurs s'éloignent beaucoup des 60 pieds admis généralement en Angleterre comme valeur moyenne normale. Il semblait naturel que la proximité du Vésuve, et tous les phénomènes volcaniques des environs de Naples auraient dû produire une grande chaleur et des degrés géothermiques faibles; tandis qu'on est en présence d'un maximum.

Mallet, qui avait besoin pour sa théorie, de pouvoir appliquer le degré moyen habituel, jouait donc de malheur. Mais il fait observer avec raison que les puits sont forés dans un tuf poreux soumis à des influences refroidissantes par la pénétration d'eau

douce ou d'eau de mer. Le fait n'en est pas moins aussi curieux qu'inattendu.

Si on élimine tous les cas douteux ou spéciaux, on restera en présence d'un nombre réduit de chiffres pour lesquels manquera encore l'examen si important de la nature et de la conductibilité des roches traversées.

On arrive ainsi à penser que l'étude des questions géothermiques est bien peu avancée, et qu'elle aurait besoin d'être reprise avec des méthodes nouvelles et précises. En tout cas, le degré géothermique constant de 30 *m* ne saurait être admis dorénavant qu'en qualité de chiffre approximatif provisoire et certainement inapplicable à de grandes profondeurs.

Parmi les températures réellement utilisables pour chercher la loi de la répartition de la chaleur terrestre, nous n'avons que celles des deux grands sondages dont il vient d'être question. Pour celui de Schladebach, on désirerait le voir complété par une étude de la conductibilité des roches traversées tandis que celui de Sperenberg s'étendant sur une masse homogène de sel gemme de 1 182 *m*. sans arriver à la dépasser, acquiert par cela même une grande valeur. Il nous démontrerait l'augmentation du degré géothermique de 408 *m* à 1 268 *m*, si l'on pouvait décider une question si importante sur un exemple unique.

CHAPITRE II

Tremblement de terre de Lisbonne et mouvements de la mer.

§ 62. — Les indications de Lyell, malgré l'exactitude qu'on remarque dans ses ouvrages, ne donne pas une idée juste de ce qui s'est passé à Lisbonne. Dans le but de mieux comprendre les faits décrits, je me suis reporté à la carte de l'entrée du Tage et du Port de Lisbonne publiée par le *Dépôt de la Marine* (édition de juin 1891) et voici les renseignements que j'y ai puisés.

Lisbonne se trouve sur le bord d'une partie élargie du Tage de plus de 5 *km* de largeur, laquelle se réduit ensuite à 1 800 *m* environ pendant une quizaine de kilomètres, où il aboutit à la mer. En face du centre de Lisbonne, la carte accuse des profondeurs d'eau allant jusqu'à 22 *m* tandis que, dans le chenal étroit, il y en a 39. Il n'existe *sur cette carte* aucune barre, ni devant Lisbonne, ni à l'embouchure du Tage.

L'amplitude de la marée est de 1,20 *m*.

La ville est bâtie sur un terrain qui s'élève en amphithéâtre; l'Observatoire du château, distant de 700 *m* du bord du Tage est à la cote de 90 *m*. La Douane, la Place du Commerce, le Palais Royal, le chantier de l'État, et les constructions avoisinantes se trouvent dans une partie basse et plane formée de couches d'argile bleue; les hauteurs environnantes sont constituées par des calcaires à hippurites.

§ 63. — Lyell dit, comme il est indiqué § 32, qu'il y eut une violente secousse, et que la mer se retira, en mettant la barre à sec : cependant il ne s'agit pas de la mer, mais du Tage; il paraît bien difficile qu'il y eût en 1755 une barre en face de Lisbonne, mais le retrait du fleuve et son retour furieux ne peuvent être mis en doute.

L'affaissement du quai, qui a fait tant de victimes, a excité l'imagination des auteurs. D'après Lyell, l'un a pensé à l'effondrement d'une caverne intérieure, remplie de vapeur condensée tout à coup par une masse d'eau provenant de fissures. Un autre songerait à un soulèvement du terrain suivi d'un retour au niveau primitif.

Je pense que toute hypothèse semblable est chose vaine.

Il est possible que le quai fondé sur l'argile ait détruit la stabilité de ce banc si voisin de la mer, et qu'il s'agisse d'un glissement sur une assez grande hauteur, lequel aurait amené un refoulement des fonds du Tage avec un surhaussement nécessaire. Le retrait du fleuve et son retour violent seraient alors expliqués : mais il s'agirait d'un phénomène tout local.

Les renseignements font complètement défaut pour raisonner sur cet effondrement; car il aurait fallu avoir en 1755 des plans et des cartes marines bien complets et procéder après le désastre à un relevé des parties terrestres effondrées et des fonds du Tage jusqu'à l'autre rive.

Il ne faut donc pas même songer à une polémique sur la cause possible de cet affaissement. Toutefois dans les dernières années, des travaux ont été exécutés pour doter Lisbonne d'un port étendu qui consiste en un simple quai, le long de la ville. Peut-être les Ingénieurs qui ont dirigé les travaux pourraient-ils donner des indications sur les terrains rencontrés dans les fondations de ce quai, au droit de la partie effondrée. Il y aurait à examiner si certains indices ne seraient pas susceptibles d'aider à proposer une explication ayant quelque fondement.

Si nous ne pouvons rien dire sur le mécanisme de l'événement du quai, il nous est permis de constater que son engloutissement a été nettement localisé et qu'il a aggravé la catastrophe dans de très grandes proportions. Nous ferons observer en outre cette circonstance spéciale que les dégâts, dans la ville de Lisbonne, ont été limités aux parties basses correspondantes au terrain argileux, à l'exclusion du calcaire formant les parties hautes immédiatement voisines.

Nous avons vu qu'il était parlé de montagnes s'ouvrant à leur cime, et se brisant d'une manière étrange, de sorte que d'énormes masses étaient tombées dans les vallées situées à leur base. Ce sont en réalité de grands éboulements.

§ 64. — Ce qui vient d'être dit sur le mouvement du Tage et les renseignements nécessaires pour pouvoir en raisonner, peut s'appliquer à presque tous les mouvements de la mer dans les ports. Tant qu'on manquera de bases sérieuses, c'est-à-dire de sondages et de nivellements faits avant les catastrophes, puis de relevés des points déjà mesurés, après qu'elle seront terminées, le tout relié à des repères bien fixes, il sera impossible de se rendre un compte exact de ce qui s'est passé.

Comme le fond de la mer peut avoir des mouvements étendus, et que les cartes marines détaillées n'existent que pour des points spéciaux, il est à craindre que les mouvements s'étendent hors de ces points, et que l'on reste ainsi fort longtemps dans l'ignorance des conditions nécessaires pour la formation de ces raz de marée qui, par les masses d'eau qu'ils entrainent, produisent des désastres qui doivent prendre des proportions démesurées par rapport au mouvement initial qui les a causés.

CHAPITRE III

Tremblement de terre de la Calabre.

§ 65. — Le tremblement de terre de la Calabre en 1783, a été décrit d'après Dolomieu dans les §§ 34 et suivants. Quoique ce géologue soit d'avis que les secousses proviennent de causes intérieures, les détails qu'il donne démontrent d'une façon évidente qu'il s'agit de glissements superficiels ne s'étendant pas aux couches inférieures restées fixes.

M. Fouqué a parlé de semblables mouvements dans son ouvrage, mais en ajoutant qu'ils étaient de médiocre importance. Ce n'est

pas le cas pour la Calabre avec ses 20 000 personnes ensevelies à la première secousse, et avec le chiffre total de 60 000 victimes lorsque le calme a été rétabli dans toute la région bouleversée puis agitée pendant quatre ans.

Nous n'avons plus besoin de recourir à des forces endogènes pour expliquer tous ces glissements.

En effet, lorsqu'un chemin de fer ou un canal est en construction dans un pays et que des légions de terrassiers viennent ouvrir des tranchées et pratiquer des remblais, on comprend que ces travaux venant troubler la stabilité des terrains traversés, puissent provoquer des éboulements et des glissements importants. Les conditions de la Calabre sont analogues à un tel cas, en ce sens que depuis les temps historiques il y a toujours eu des tremblements de terre. Elle fut bouleversée en 1638, et pendant cent quarante-cinq ans le travail des eaux pluviales et courantes fit son œuvre, en approfondissant les ravines ou les vallées avec des talus très raides. Le moment arriva où cet approfondissement fut assez grand pour que la stabilité des terrains voisins fût compromise, et pour qu'une catastrophe devînt inévitable comme aux alentours des travaux du canal ou du chemin de fer. Il a pu exister des microséismes avant le tremblement de terre de 1783, comme ceux constatés par M. de Rossi, mais sont-ils la cause ou l'effet des ravines? C'est ce qu'il serait difficile de démêler, car si l'on suppose ces ravines comblées et l'écoulement des eaux assuré dans des canaux d'une section suffisante, avec des berges protégées contre toute atteinte, qui oserait dire que le calme n'aurait pas régné dans cette grande plaine et qu'on n'aurait pas supprimé les microséismes eux-mêmes, inconnus dans beaucoup de régions? Il faut noter aussi cette circonstance si probante, des quatre années qui furent nécessaires aux terrains bouleversés pour arriver à un nouvel état d'équilibre. On peut penser que les choses resteront en repos jusqu'à ce que le travail de corrosion arrive à un point tel que les mouvements devraient fatalement recommencer si l'on ne tente de prendre des mesures pour les arrêter.

Remarquons enfin que les glissements ont causé des effondrements, des surhaussements, des rotations avec projections latérales, qui ont rendu vertical ce qui était horizontal; il y a donc eu *la variété la plus complète des mouvements* qui, dès lors, ne nécessiteront plus les forces endogènes pour être expliqués lorsqu'il s'en présentera de semblables dans d'autres cataclysmes.

CHAPITRE IV

Tremblement de terre de la Basilicata.

§ 66. — J'ai d'abord pris connaissance du grand ouvrage de Robert Mallet relatif à ce tremblement de terre de la Basilicata, afin de connaître sa théorie.

J'ai repris cet ouvrage pour examiner cette catastrophe en dehors de toute théorie, certain, d'ailleurs, que Mallet, avec son exactitude et sa conscience, m'en fournirait les moyens.

TABLEAU N° 7

Morts et blessés du distretto *de* Potenza (Basilicata)

NUMÉROS D'ORDRE	NOMS DES COMMUNES	POPULATION		NOMBRE		DISTANCE KILOMÉTRIQUE
		EN 1879	EN 1857	des MORTS	des BLESSÉS	
1	Abriola	3 017	3 414	11	3	29
2	Anzi	3 654	4 053	1	»	38
3	Armento	2 960	3 553	31	37	57
4	Balvano	3 739	4 229	»	1	8
5	Brienza	4 878	5 350	151	30	15
6	Calvello	5 611	5 829	99	40	31
7	Cancellara	3 107	3 004	»	1	39
8	Corleto-Perticara	5 003	5 227	12	42	52
9	Gallichio	1 211	1 296	16	98	62
10	Guardia-Perticara	1 712	1 982	85	53	57
11	Laurenzana	6 965	7 665	7	8	42
12	Marsico-Nuovo	8 611	7 528	89	»	28
13	Marsico-Vetere	2 547	3 403	90	»	35
14	Missanello	1 065	1 084	14	50	64
15	Montemurro	3 848	7 002	5 000	500	52
16	Paterno	2 483	2 500	122	»	34
17	Picerno	4 497	4 769	26	9	16
18	Pietra-Fessa	2 710	2 867	4	»	12
19	Potenza	18 513	12 511	22	11	28
20	Sant'-Angelo-le-Fratte	1 656	1 644	63	22	7
21	Saponara di Grumento	2 620	4 010	2 000	70	46
22	Sasso di Castalda	2 345	2 760	4	1	18
23	Spinosa	2 648	2 939	45	35	52
24	Tito	4 563	4 939	257	»	17
25	Tramutola	3 804	4 538	177	52	39
26	Vietri di Potenza	3 683	3 425	1	»	4
27	Viggiano	5 242	6 634	800	200	43
28	Vignola ou Pignola di Basilicata	3 775	5 259	6	»	23
	TOTAUX	106 467	123 464	9 123	1 063	

TABLEAU N° 8

Morts et blessés du distretto *de* Lagonegro (Basilicata).

NUMÉROS D'ORDRE	NOMS DES COMMUNES	POPULATION		NOMBRE		DISTANCE KILOMÉTRIQUE
		EN 1879	EN 1857	des MORTS	des BLESSÉS	
1	Carboni	1 945	2 318	39	19	69
2	Castel-Saraceno	1 344	3 123	127	138	62
3	Castro-Nuovo	2 9:4	3 012	11	5	73
4	Maratia	4 966	7 076	1	»	?
5	Roccanova	2 136	1 940	83	27	74
6	San-Chirico-Raparo	3 045	3 351	5	»	64
7	San-Martino	1 525	1 623	6	23	60
8	Sant'-Arcangelo	4 327	3 950	96	17	77
9	Sarconi	1 131	1 244	32	4	50
10	Senise	5 038	4 556	1	4	84
11	Torso	4 375	3 510	1	»	91
	TOTAUX pour le distr. de Lagonegro	32 816	35 713	402	237	
	TOTAUX pour le distr. de Potenza	10[illegible] 467	123 464	9 123	1 063	
	TOTAUX GÉNÉRAUX	139 283	159 177	9 525	1 300	

J'ai naturellement porté mon attention sur les points où s'étaient produits les plus grands désastres. Mallet avait demandé aux autorités administratives locales des renseignements qui, malheureusement, ne sont pas aussi complets qu'on le désirerait.

La province la plus atteinte fut la *Basilicata*, actuellement province de Potenza, ainsi nommée du nom de son chef-lieu. Chaque province est divisée en *distretti* qui répondent à nos arrondissements. Deux états des morts et blessés, l'un pour le *Distretto* de *Potenza*, l'autre pour le *distretto* de *Lagonegro*, furent communiqués à Mallet; je les reproduis ci-dessus en ajoutant deux colonnes, celle n° 3 où j'ai inscrit la population en 1879 d'après le *Dizionario Statistico dei Comuni del Regno d'Italia di Luigi Gnecco* (Savona 1879) et celle n° 7 donnant en kilomètres les distances à vol d'oiseau des diverses communes à la localité nommée *Caggiano*, prise comme centre du séisme : on trouve, en effet, sur la carte dressée par Mallet, une circonférence tracée en rouge où aboutissent presque toutes les directions des ondes et dont le centre se trouve à très peu près à la position de cette ville. (Voir les tableaux n°s 7 et 8 placés ci-dessus.)

Si on examine ces deux tableaux, un fait saute aux yeux : sur 9 525 morts, trois villes en ont donné 7 800; et sur 1 300 blessés,

ces trois mêmes villes en ont fourni 770. Ce sont *Montemurro*, *Saponara di Grumento* et *Viggiano*.

Étudions les conditions dans lesquelles se trouvaient ces trois villes.

§ 67. — *Montemurro* est bâtie comme la plupart des villes de la Basilicata, sur une langue de terre présentant la forme d'un quadrilatère à angles fort arrondis, dont un des côtés s'enracine dans un plateau voisin; sur les trois autres côtés sont des ravins abruptes avec des cours d'eau.

Ces ravins ont environ 200 *m*. de profondeur. La masse du terrain semble toute composée d'argile, mais on y trouve aussi des indices de couches calcaires.

Tout avait été bouleversé; la ville n'était plus qu'un amas de décombres; le seul objet resté intact était une croix de pierre surmontant une colonne corinthienne avec un piédestal placé au-dessus de trois marches; la hauteur totale du monument est d'environ 4,50 *m*.

Mallet n'y trouve pour habitants qu'une espèce de contrebandier et sa femme, qui se sont fait une hutte. Sur 7 002 habitants, 5 000 ont péri et 500 ont été blessés; on comprend qu'elle ait été désertée. Mallet l'appelle la cité des morts, *the city of the dead*.

Eh bien, ce désastre doit être attribué, non pas à des secousses, mais à des glissements de terrain d'une évidence patente. Ce sont des éboulements superficiels d'argile qui ont tout produit; Mallet lui-même n'émet à cet égard aucun doute.

« Montemurro, dit-il, p. 11, tome II, est à ce tremblement de terre ce que Oppido a été à celui de la Calabre en 1783. La similitude dans la position comme dans l'effroyable proportion des morts dans la population est établie par Grimaldi dans son excellent récit de cette catastrophe, p. 19 et 20 : « Oppido, ville du moyen âge, qu'on dit édifiée sur les ruines de l'antique Mamerto. ..... Population 2 371; morts 1813. La ville était située sur une colline entourée de deux fleuves; sa hauteur était de 500 pas environ..... Cette colline se divisa en deux parties : ses ruines empêchèrent le cours des fleuves; il s'y forma deux grands lacs par les eaux qui s'y engouffrèrent. »

On regrette pourtant que Mallet n'ait pas cherché à se rendre compte du mécanisme des mouvements par l'inspection des fissures; mais il est probable que les décombres rendaient la chose fort difficile.

Saponara di Grumento était une ville de 4 010 habitants où il y a eu 2 000 tués et 70 blessés. Elle ne s'est pas relevée de ce désastre puisqu'en 1879 il n'y avait encore que 2 620 âmes.

Cette ville se trouvait sur une hauteur conique isolée qui s'élève à 270 ou 300 *m*. (évaluation faite à vue d'œil) au-dessus des torrents voisins l'Agri et la Sciavra. La ville couvrait le sommet et les flancs de la colline, formée de bancs de calcaire sans consistance et couverts par de profondes alluvions. A l'exception d'un ancien château normand, tout était en ruines par suite d'un mouvement de masse de tout le terrain.

Le fait, dit Mallet, que l'entière destruction de la ville était due à un mouvement de la colline même sur laquelle elle était bâtie et non de quelque accroissement dans cette région des dimensions ou vitesses de l'onde terrestre elle-même ne peut recevoir une preuve plus complète que celle de l'existence de plusieurs bâtiments autour de la *base* de la colline, et sur *l'alluvion profonde* auprès de sa jonction avec le calcaire dont elle est composée, *comparativement saufs* tous, cependant, sévèrement endommagés. Des fissures radiales partant du sommet du cône ajoutaient encore à cette démonstration.

Quant à *Viggiano*, Mallet ne donne pas de détails sur les dommages qui furent grands : elle est perchée, dit-il, au sommet d'une masse de calcaire s'élevant abrupte des argiles profondes de la vallée de l'Agri. Il ne fait pas de relevé de crevasses ou autres, parce que la ville est trop près de plusieurs autres qui lui ont donné pour cette région, ce qui était nécessaire à l'application de sa théorie. Mais, non loin de Viggiano, il trouve plusieurs glissements de terrain remarquables *(several most remarkable landslips*, p. 14, t. II), et il donne le dessin de l'un d'eux, qui vient barrer le cours de l'Agri.

Mallet explique la situation de toutes ces villes sur des hauteurs par la *malaria* qui sévit dans la plaine, et par la nécessité qui existait pendant les guerres du moyen âge, de résider sur un endroit élevé d'où l'on pouvait surveiller les abords de la ville.

§ 68. — Pour le *Distretto* de *Sala Consilina (Principato Citeriore* maintenant province de *Salerno*), qui est limitrophe de celui de Potenza, Mallet a eu le tableau suivant où j'ai ajouté les colonnes 3, 4 et 7.

Nous n'avons plus le nombre des victimes, mais seulement celui des maisons abattues ou lézardées.

TABLEAU N° 9
des plus grands désastres dans le distretto *de* Sala-Consilina
(Principato Citeriore).

NUMÉROS D'ORDRE	NOMS DES COMMUNES	POPULATION		NOMBRE DES MAISONS		DISTANCE KILOMÉTRIQUE
		EN 1879	EN 1857	ABATTUES	LÉZARDÉES	
1	Atena	2 841	Non indiquée	932	812	12
2	Auletta	2 997	Id.	186	310	6
3	Caggiano	3 539	Id.	43	50	»
4	Diano, maintenant Teggiano.	7 018	Id.	19	52	22
5	Montesano sulla Marcellana.	5 617	Id.	140	100	37
6	Padula	8 662	Id.	171	50	30
7	Pertosa	963	Id.	176	133	3
8	Polla	5 706	Id.	1 300	335	7
9	Sala Consilina	7 732	Id.	38	26	21
10	San-Pietro al Tanagro . . .	2 611	Id.	187	374	12
11	Sant'-Arsenio	4 240	Id.	121	526	11

Les deux villes de *Polla* et *Atena* attirent notre attention.

Polla dominait la vallée de Diano, étant placée sur un éperon se détachant des montagnes qui entourent cette vallée, dans une direction transversale à celle de la vallée.

« Comme je descendais dans sa direction, d'énormes fentes (*huge yawning gaps*) commencent à se montrer sur les flancs nord et sud, où, sur de grandes étendues, tout a été nivelé, et les traces des rues ont été annihilées; d'immenses accumulations et des avalanches inclinées couvrent et encombrent le terrain environnant. Des mois de bombardement n'auraient pas produit une destruction aussi complète » (p. 292).

Le frontispice de l'ouvrage de Mallet donne une vue des ruines de Polla où l'on voit en effet les amoncellements de décombres dont il parle. Mais au premier plan, et dans la partie de la ville située dans la plaine, se trouvent des maisons entières, et n'ayant que des lézardes. On est donc dans le même cas que Saponara, et il s'agit encore d'un grand mouvement tout à fait délimité.

Atena est aussi placée sur un éperon ou langue de terre ayant des talus fort escarpés : dans ses environs immédiats, les escarpements de ses bords sont fissurés, et des glissements de terrain ont eu lieu.

Auletta est encore dans la même situation : il s'y trouve aussi des crevasses dans les flancs abrupts de la langue de terre où elle est bâtie. « La crevasse, dit Mallet, est la preuve d'un grand

glissement de terre; il résulte, non pas d'une fracture directe des roches sous-jacentes, mais de ce que les masses d'argile avaient été secouées violemment sur les bancs inclinés du roc, auxquels elles étaient superposées, et avaient glissé en masse par la gravité, en se séparant suivant lesdites fissures. »

Elles se sont ouvertes dans des argiles diluviennes de grande pesanteur spécifique, d'un grain très fin, et presque exemptes de gravier et de pierres, qui, mouillées, deviennent visqueuses *de sorte qu'une déclivité jointe à une humidité toutes deux très faibles, produisent seules de fréquents éboulements.*

Sur le chemin qui conduit d'Auletta à la villa Carusso, Mallet constate une fissure de 120 *m.* de long avec un abaissement de 1,20 *m.* Le travail mécanique nécessaire pour provoquer un mouvement de matière semblable n'est pas très grand, à son avis : *il consiste à vaincre le frottement et la cohésion de la masse, sur une épaisseur verticale de 7 à 8 cm. (3 pouces anglais), pour plusieurs millions de tonnes de terre, et la gravité seule se charge de produire le mouvement de descente.*

Pour donner une idée de ces sortes d'argiles, qu'on trouve partout dans les provinces atteintes, Mallet ajoute que dans ses courses à la villa Carusso, il rencontrait des ravines causées par les eaux pluviales, d'une profondeur de 9 à 12 *m.*, dont les talus étaient si raides et la terre si grasse qu'on n'aurait pu les traverser sans l'aide des broussailles qui se trouvaient sur leurs bords.

§ 69. — Nous avons vu dans le § 41, que Mallet parle des effets secondaires produits sur les terrains par le passage du choc intérieur, et qui comprennent : 1° les glissements de terre avec crevasses ; 2° la chute de parties rocheuses après désagrégation ; 3° les altérations des cours d'eau, conséquence de l'un de ces deux phénomènes ou des deux à la fois.

Il n'admet pas, et avec raison semble-t-il, que les secousses produisent des effets de tension amenant des fissures. Mais d'autre part il ne croit pas à ces mêmes fissures dont on parle comme s'ouvrant et se fermant brusquement, où disparaissent hommes et mules , comme il est arrivé dans un tremblement de terre de la Jamaïque. Il n'est cependant pas possible de révoquer en doute de tels faits tout à fait certains, mais qui, pour être expliqués, exigent la connaissance complète des circonstances dans lesquelles ils ont eu lieu, ce qui est souvent fort difficile à obtenir.

Il est également sceptique à l'égard des gouffres *(voragini)* qui

se seraient ouverts en 1783 dans la plaine de la Calabre. Mais il semble que cette expression doive être attribuée à des fissures de grande étendue et profondeur, ce qui les rend admissibles.

Il reconnaît toutefois que des glissements peuvent causer de prodigieuses altérations de surface *(prodigious alterations of the surface)* surtout le long d'un fleuve profond : il cite à ce propos le cas du quai de Lisbonne qui aurait glissé dans l'eau profonde avec le banc d'argile qui le supportait. Mallet n'hésite donc pas à considérer cet événement comme relevant uniquement d'un mouvement de masse.

Tout cela concerne les éboulements argileux; quant aux chutes de rochers, Mallet les attribue à des parties déjà désagrégées livrées à leur seule inertie.

§ 70. — Les réflexions à déduire de ce qui précède sont d'un grand intérêt.

La description des séismes comporte toujours une carte avec des courbes comprenant les lieux les plus endommagés, et ceux soumis à de simples secousses. Mallet en a deux qui sont soignées : l'une d'elles comprend trois courbes; une petite circonférence avec Caggiano pour centre ou à peu près; une seconde un peu plus grande; la dernière est une sorte d'ellipse qui englobe toutes les localités comprises dans les tableaux 7, 8 et 9 des §§ 66 et 68. Ces courbes sont utiles pour faciliter et circonscrire les recherches : mais elles forment une indication des plus sommaires et demandent à être complétées par des tableaux donnant des indications précises sur les dommages qui ont eu lieu. Examinons à ce point de vue le tableau n° 7 du distretto de Potenza, qui comprend vingt-huit communes; il y en a deux ayant 5 000 à 2 000 morts, une ayant 500 morts, une autre 257 et trois dont le nombre de morts est compris entre 200 et 100, soit sept communes ou un quart gravement atteintes. Nous comptons ensuite cinq communes ayant de 100 à 50 morts et seize de 80 à 1. Mallet ne nous dit pas si toutes les communes du distretto comprises dans la zone ébranlée y sont mentionnées, il peut se faire qu'on n'ait pas porté celles restées intactes.

Dès lors, nous voyons la nécessité de prendre pour base de l'étude d'un tremblement de terre des tableaux statistiques comprenant *toutes les communes de la zone atteinte*, celles intactes comme celles ravagées, avec l'indication des morts et des blessés, ainsi que des maisons démolies ou simplement lézardées.

Il est ensuite évident que l'examen le plus approfondi devra porter sur les parties les plus gravement atteintes; or, Mallet n'hésite pas à dire que les deux malheureuses villes de Montemurro et de Saponara avec leurs milliers de morts ont été victimes de glissements locaux. En présence de semblables désastres, ne devait-il pas porter toute son attention sur le mécanisme de glissements qui produisent de telles ruines. Mallet émet bien quelques considérations sur cette question, mais elles sont trop générales, trop sommaires et tout à fait insuffisantes pour donner une idée de la manière dont ces mouvements se sont produits et et ensuite propagés.

Nous sommes donc en droit de conclure que Mallet, absorbé par sa théorie, a méconnu l'importance des mouvements superficiels qu'une fortune inespérée mettait sous ses yeux, ainsi que la gravité des questions qu'ils soulèvent.

CHAPITRE V

Tremblements de terre d'Ischia et d'Andalousie.

§ 71. — Je n'ai que quelques mots à dire sur *le tremblement de terre d'Ischia*. En raison des éboulements de l'Epomeo, des crevasses autour de Fango et des renversements de murs de clôture de la campagne avec crevasses voisines, dans des parties nettement délimitées, il me paraît qu'on peut émettre des doutes sur l'existence d'une poussée explosive, et qu'il eût été opportun de faire des recherches pour savoir si des crevasses n'existaient pas avec des mouvements superficiels correspondants dans les parties les plus éprouvées.

En l'absence de toute constatation de cette sorte, on reste dans le doute au sujet de la véritable cause des désastres.

§ 72. — Nous avons vu, dans la description du *Tremblement de terre d'Andalousie*, qu'un échec complet avait suivi les tentatives faites pour appliquer les théories de Mallet, de Seebach et de Falb. En revanche, une grande importance est attribuée à la constitution géologique du sol, ainsi qu'aux fractures profondes qu'on y a constatées.

Fidèles aux idées qui nous guident, nous allons chercher à réunir les récits relatifs aux effets permanents qui ont été vus et relevés sur place peu après les plus grands désastres. Je me

servirai pour cela de l'ouvrage si souvent cité de M. Fouqué, du rapport de mission, du même savant, et enfin d'une lettre adressée à l'Académie des sciences par M. Noguès, qui a parcouru en janvier 1885, une partie de la province de Grenade pour noter les effets du tremblement de terre depuis le 25 décembre précédent (*Comptes rendus 1885*, 1er semestre, p. 253).

Il a déjà été question de M. Noguès, dans le § 19, à propos d'expériences qu'il a faites dans des mines d'Espagne sur la propagation des secousses à travers diverses roches. M. Noguès a fait, en outre, à la Sorbonne en 1888 un cours libre de séismologie terrestre : il était donc compétent pour donner des renseignements utiles.

Je marque les extraits de la lettre de M. Noguès de la lettre (N); la lettre (F) correspondra à l'ouvrage de M. Fouqué, comme au rapport de mission.

Dans ce qui va suivre, on trouvera divers faits qui ont été déjà indiqués, mais d'une manière générale, dans la troisième section de la première partie. S'il en est question de nouveau, c'est afin de bien préciser les conditions dans lesquelles ils ont eu lieu.

§ 73. — *Sierra de Tejena.* — Dans les environs de Periana au pied sud de cette sierra, il y eut des crevasses profondes présentant de larges ouvertures (N). « A Guaro, non loin de Periana, le sol argileux appliqué sur les flancs du calcaire voisin et détrempé profondément par les eaux pluviales s'est détaché du sous-sol et a glissé en masse, laissant sur ses bords une sorte de fossé large de 2 à 3 *m*. *De plus, la partie crevassée s'est déplacée de manière à présenter l'aspect d'un champ labouré par une charrue gigantesque.* La source qui débouchait au-dessous de la métairie de Guaro est devenue trouble, plus abondante, et elle s'est montrée à un niveau plus bas (F). »

Dans cette sierra, les mouvements du sol ont acquis une telle importance depuis le 25 décembre que les bergers qui la fréquentent l'onr abandonnée ainsi que les paysans qui habitent les costijos isolés (N). En plusieurs points de la sierra Tejeda, des blocs volumineux se sont détachés et ont roulé en bas de la montagne (F).

Guevejar. — A Guevejar, s'est ouverte une *crevasse parabolique* d'environ 3 *km* de longueur, large de 3 à 15 *m* et d'une grande profondeur; le son s'y répercute vers l'intérieur, et une bougie allumée à 7 *m* de la surface a sa flamme poussée vers l'intérieur et s'éteint (N).

Le village de Guevejar, bâti sur le versant sud-ouest de la sierra de Cogollos, est assis sur une couche argileuse qui repose elle-même sur une roche calcaire ; une partie du village est située sur les flancs de la montagne, l'autre partie sur les bords de la rivière Cogollos. Depuis le 25 décembre dernier, date de l'ouverture de la grande crevasse dont il vient d'être question, la partie haute du village éprouve un mouvement de translation au sud-ouest vers la rivière. *Certaines maisons situées au centre de la parabole décrite par la crevasse ont avancé de 27 m, tandis que d'autres, situées aux extrémités de cette courbe, n'ont avancé que de 3 m* (N).

C'est en un point de cette grande crevasse, qu'un olivier a été partagé en deux parties depuis la racine jusqu'aux branches (effet curieux d'un véritable effort tranchant) chacune des parties occupant actuellement une lèvre de la fente. Sur un autre point, la crevasse divise en deux, selon le grand axe du prisme, le mur qui porte la roue d'une fabrique de poudre ; enfin les nombreuses fentes des maisons du village ont également la direction de la ligne décrite par les crevasses (N).

Les maisons, tout en subissant ce transport commun, sont restées debout (F).

La crevasse de Guevejar, en se formant, a accumulé sur l'un des cerros (hauteurs) un amoncellement de matériaux d'environ 1 300 à 1 500 m^3 de rocher. Au nord de la zone crevassée, un cerro de forme circulaire s'est élevé d'une manière sensible (N).

A l'extrémité sud de la même crevasse, à 15 *m* de la rivière, il s'est formé un petit lac de 2 à 300 m^2 qui a 9 *m* de profondeur à son centre. Le versant opposé à la rivière où le lac s'est formé s'est élevé d'environ 13 *m* au-dessus de son niveau primitif (N).

Tous les cours d'eau compris dans la zone de la crevasse de Guerejar ont disparu, laissant leurs lits à sec. La fontaine qui alimentait le village, d'eau potable, s'est également tarie (N).

Alhama. — Les terrains tertiaires d'Alhama, de Santa-Cruz, d'Arenas del Rey, etc., ont peu d'adhérence : ils glissent et coulent facilement sur les pentes. La ville d'Alhama est bâtie sur un escarpement tertiaire au pied duquel coule la rivière Almarchar : *la ville haute s'est précipitée sur la ville basse, entraînant une partie de l'escarpement et toutes les maisons qu'il portait.* Les sources de la rivière Almarchar ont baissé de niveau : *le lit s'est crevassé :* les propriétés riveraines ne peuvent plus être irriguées (N).

A 3 *km* de Santa-Cruz et à 2 *km* d'Alhama, le pied d'une mon-

tagne s'est crevassé. Il s'est fait une grande fente d'où sortent des gaz fétides à odeur d'acide sulfhydrique : à 1 *km* de distance l'odeur est perceptible. De cette fente jaillit une source abondante d'eau sulfureuse à une température de 42° c, débitant de 1 à 2 m^3 par seconde : ***d'ailleurs, tous les cerros des environs d'Alhama sont actuellement crevassés*** (N).

Région de Zaffaraya. — Aux environs de la venta de Zaffaraya, il y a des crevasses sur une longueur considérable, partant de la montagne et pénétrant dans la plaine : des maisonnettes ont même été entrainées dans ces crevasses dont quelques-unes ont plusieurs kilomètres de longueur. Une des plus remarquables est celle qui commence près de la sierra de Jata, et se termine près du village de Zaffaraya sur près de quatre lieues (N).

Costijo de Guaro. — « Il s'est produit en ce lieu des mouvements superficiels du sol qui ont vivement excité l'attention publique.

» Sur le flanc de la sierra jurassique de Zaffaraya, au pied de laquelle est situé le hameau de Guaro, remonte un manteau de rochers nummulitiques qui pénètre dans un col de la chaine. Sur ce ***substratum marneux*** existait un amas de déjections composé de limons, de graviers et de blocs de calcaire jurassique.

» Par suite du tremblement de terre, ***tout ce système a glissé sur son substratum***, et il s'en est suivi un éboulement considérable. Plusieurs maisons ont été renversées, et il y a trois victimes... L'éboulement se termine par une espèce d'amas volumineux d'argile dont la surface est très fissurée, par suite du glissement inégal et du tassement des matériaux qui le composent. La direction du mouvement de descente est à peu près E.-O. : elle représente la diagonale d'un réseau à angle droit formé par les crevasses. Celles-ci sont larges de 4 à 5 *m*; leur profondeur au mois de mars était de 6 à 7 *m*. Le fonds était rempli par des éboulis. Au milieu de l'amas se voit une butte calcaire (F). »

§ 74. — D'après ces renseignements, l'importance des mouvements superficiels est hors de doute : car on y voit le déplacement d'une partie d'un village sans le détruire, la destruction d'une ville basse sur laquelle glisse et tombe la ville haute, les crevasses de plusieurs kilomètres de longueur et les chutes importantes de rochers.

On voudrait pourtant voir ces renseignements complétés par un

tableau statistique de toutes les communes comprises dans la région ébranlée, avec le nombre des habitants morts et blessés, ainsi que des maisons détruites ou lézardées; on désirerait aussi qu'une étude complète des dégâts avec plans, profils et sondages, permît de se rendre un compte exact des mouvements survenus à Alhama, comme dans les villes d'Arenas del Rey et d'Albuñuelas.

Quant à l'étoilement de fractures nombreuses situé au milieu de l'épicentre, et qui aurait eu un rôle prepondérant dans les secousses, n'y a-t-il pas des pays, tout à fait exempts de tremblements de terre, où les travaux de mine font constater des fractures nombreuses? Mais si le terrain à la surface du sol a des inclinaisons insignifiantes, tout mouvement superficiel est interdit. Cette réflexion n'est-elle pas de nature à donner une grande importance aux conditions de pente et de stabilité dans lesquelles se trouvent les parties bouleversées, ainsi qu'aux mouvements qui dérivent de l'ensemble de ces circonstances?

CHAPITRE VI

Tremblement de terre de Menton et Diano-Marina.

§ 75. — Nous avons vu la localisation remarquable des dommages et des secousses dans les plages et vallées du littoral méditerranéen, à l'exclusion des parties hautes, sauf pourtant le désastre de Bajardo.

M. Stanislas Meunier remarque leur répartition sur la carte et leur situation symétrique par rapport au point le plus atteint; il conclut à la comparaison avec une corde vibrante tendue, présentant des ventres avec des vibrations et des secousses, et des nœuds où régnerait le repos. De pareils phénomènes existeraient autour des machines fixes en mouvement : ceci demanderait à être élucidé par des exemples et des calculs. Quant au caractère musical de la vibration des roches, ni Mallet, ni le général Abbot, ni MM. Milne et Gray, ni MM. Fouqué et Lévy ne paraissent l'avoir remarqué dans leurs expériences sur la transmission des ondes produites par une explosion. Si ce caractère musical existe réellement, il doit être possible de le constater au moyen de séismographes, et, pour l'admettre, il semble prudent d'attendre sa confirmation expérimentale.

M. Stanislas Meunier renouvelle, dans les articles qui ont été

cités, l'explication de M. Daubrée sur les secousses séismiques, mais en la précisant : toutes les couches terrestres étant pourvues de leur eau de carrière, les commotions résulteraient « de la force développée par la volatilisation de l'eau contenue dans un bloc de roche d'un kilomètre cube, par exemple, » tombant dans le noyau fluide de la terre. Les effets seraient gigantesques.

Comme nous l'avons vu, de tels phénomènes deviennent problématiques avec les derniers résultats obtenus en géothermique.

§ 76. — M. Fouqué attribue ces localisations à la constitution géologique de la côte maritime, ce qui paraît tout à fait fondé.

Les plages et les vallées où les dommages ont été les plus sérieux seraient formées de sols meubles. Les secousses y produiraient de grands effets, tandis qu'elles laisseraient pour ainsi dire indemnes les constructions établies sur les parties compactes ou rocheuses.

Il reste à expliquer cette grande inégalité dans les effets des mêmes secousses. Pour y arriver, on a recours à la comparaison dont il a été déjà parlé, de la plaque de verre mise en vibration par un archet. La plaque semble en repos, mais si, avant de la faire résonner, on la couvre de sable, on voit celui-ci se mettre en mouvement.

Cette explication demande pourtant des éclaircissements et des réserves.

Supposons une couche de roc continue, et recouverte, sur une partie de sa surface plane, d'une certaine épaisseur d'alluvion sablonneuse. Deux maisons identiques sont bâties, l'une sur le roc, l'autre sur l'alluvion. Le roc est soumis à des vibrations qui lui communiquent une certaine énergie, les deux maisons devront être ébranlées avec la part d'énergie dont le terrain sous-jacent pourra disposer; dans la partie où se trouve l'alluvion, celle-ci absorbera une partie de l'énergie du roc, et la maison qu'elle supporte sera moins secouée que sa voisine; seulement, il y a cette circonstance spéciale que l'alluvion peut prendre des mouvements de glissement et se dérober sous la maison; un ou deux décimètres suffiront pour la faire tomber, tandis que l'autre résistera, sauf peut-être quelques lézardes. Dans le cas où l'alluvion serait assez solidement tassée et encaissée pour empêcher tout tassement inégal et tout glissement, il n'y aurait aucune raison pour que la maison qu'elle supporte souffrît plus que sa voisine sur le terrain solide.

Ces remarques comportent une vérification expérimentale. Si elles sont vraies dans les localités endommagées le long du littoral de la Méditerranée, le terrain sous-jacent a dû subir des mouvements dont il est possible de retrouver les traces. Il ne semble pas qu'on ait fait des recherches dans ce sens; il est cependant certain, qu'à Albissola, la route et le chemin de fer étaient crevassés, ce qui ne laisse aucun doute pour cette localité.

§ 77. — Pour expliquer les mouvements purement superficiels au-dessus d'une partie solide restée fixe, comme aussi les singuliers dommages ébranlant une localité, tandis que les mines inférieures ne ressentent absolument rien, on recourt le plus souvent à la comparaison des billes d'ivoire indiquées par Gay Lussac et rappelées dans le § 6 : la première étant écartée de sa position, ne met en mouvement que la dernière.

Malgré l'autorité du grand physicien, il me semble impossible qu'on ait le droit d'assimiler des assises puissantes de granite, de schiste et de calcaire, avec des billes d'ivoire exactement sphériques et d'une élasticité presque parfaite. Dans les grands chantiers de terrassement, et dans les exploitations de carrières, on a de fréquentes explosions, parfois formidables ; on constate un travail moléculaire énorme, des désagrégations de roches importantes, mais on ne parle jamais de transmission de choc ayant laissé la roche en repos apparent, et se manifestant par des projections d'objets à la surface de la terre, comme la dernière bille d'ivoire, qui seule s'écarte de ses voisines restées immobiles après le choc de la première.

Quant aux mines, il n'est guère admissible que la transmission d'énergie d'un foyer situé à bien des kilomètres sous terre, d'où partiraient des secousses très violentes pour arriver jusqu'à la surface du sol, à travers des couches aussi compactes et aussi solidaires, que cette transmission, dis-je, ne se fasse pas sentir dans l'intérieur même des roches, et par suite dans les galeries, descenderies et puits des mines en question, autant, sinon plus qu'à la surface.

Le repos total, dans les mines considérées, ne devrait-il pas s'expliquer plutôt par des mouvements exclusivement superficiels, laissant intacte la masse en exploitation ?

Cette explication a tout au moins le mérite d'être susceptible d'une vérification relativement facile. Qu'on ait, dans des mines

semblables, des séismographes décélant les mouvements, et qu'on recherche à la surface les plans des glissements superficiels, on arrivera promptement à voir si elle est vraie ou fausse.

§ 78. — Laissant de côté ces questions qui sont encore dans le domaine théorique, et revenant au tremblement de terre qui nous occupe, je puis apporter à cette sorte d'enquête sur les terrains de ces régions, quelques informations qui ne seront peut-être pas dénuées d'utilité.

J'ai été, en effet, attaché à la direction des travaux du chemin de fer du littoral ligure pendant un certain nombre d'années et jusqu'à son achèvement. Ce chemin de fer comprenait toute la partie de la frontière italienne à la Spezia, sauf le tronçon de Voltri à Gênes.

Les Alpes maritimes, qui courent parallèlement au littoral, détachent de fréquents contreforts qui arrivent jusqu'à la mer. Ils forment des vallées où l'on trouve toutes sortes de terrains d'alluvion, depuis la vase jusqu'au sable pur ; eux aussi vont aboutir à la mer qui parfois les enrichit et les augmente, mais d'autres fois les ronge du pied. De la frontière italienne, près de Menton, jusqu'à Voltri, on ne compte pas moins de soixante-dix-neuf souterrains sur 144 *km*.

Les travaux ont présenté de véritables difficultés à cause surtout de nombreux glissements de terrain, imputables aux travaux, le plus souvent, mais qui prouvaient la très faible stabilité d'une grande partie de ces mêmes terrains.

Une Compagnie italienne de construction avait travaillé sur certains points lorsque survint l'administration dont je fis partie. On avait notamment commencé le souterrain devant passer sous la colline où se trouve la partie haute de Porto-Maurizio. Il en était résulté des mouvements dans les murs de clôture, dans les jardins, et des lézardes dans les maisons supérieures aux travaux. Il y eut aussi des mouvements de terrain superficiels en amont du chemin de fer, dans la partie comprise entre Porto-Maurizio et Oneglia. Il fallut se rendre compte de la cause exacte de ces mouvements, puis exécuter les travaux nécessaires pour les arrêter, et assurer la stabilité de la plate-forme du chemin de fer.

Plusieurs tunnels nécessitèrent également des mesures spéciales pour empêcher des mouvements dans les maçonneries de leur revêtement. On dut en prolonger quelques-uns en dehors de la hauteur à percer, pour couvrir le chemin de fer et empêcher

son encombrement par la chute des terres et des rochers provenant des montagnes voisines.

On voit qu'une secousse, même faible, courant à la surface d'une région semblable, pouvait déterminer des mouvements déjà préparés depuis un certain temps et n'attendant qu'un choc initial pour produire des ravages. Il ne parait pas qu'on soit obligé de recourir à des causes lointaines ou exceptionnelles pour expliquer ces mouvements et ces ravages. On a même le droit d'espérer que, si l'on eût procédé, après le tremblement de terre, à une étude spéciale de chacune des localités bouleversées, on aurait pu réunir les données nécessaires pour déterminer les causes immédiates des désastres.

CHAPITRE VII

Réflexions critiques sur les diverses théories.

§ 79. — Nous sommes maintenant à même de comprendre combien sont artificielles les théories de Mallet et de Seebach, partant de l'idée d'un foyer souterrain de secousses. Nous pouvons d'abord mettre en doute son existence.

Puis, supposant même qu'il existe, nous pouvons douter encore que les vibrations provenant des secousses suivent une voie rectiligne au milieu de la diversité des rochers et de celle de leurs directions. On calcule aussi des vitesses de propagation depuis ce centre jusqu'au sol, malgré les grandes différences qui existent entre ces vitesses selon la nature des terrains traversés : car de 3 000 *m* dans le granite, elle passe à 300 *m* dans le sable de Fontainebleau. (Voir § 19.)

M. Fouqué a très bien fait remarquer dans son rapport de mission qu'un observateur convaincu de la vérité d'une théorie séismique, ne voit dans les pays ravagés par un tremblement de terre que les faits qui concordent avec cette théorie, et qu'il néglige ceux qui lui sont contraires; mais on peut ajouter qu'il passe sans y fixer son attention à côté de ceux qui seraient les plus importants.

§ 80. — La théorie de M. Falb se rattache aux bruits qui sont perçus lors des tremblements de terre. La question de ces bruits est encore bien obscure : car on parle de détonations souterraines très fortes, ayant jeté l'épouvante dans des populations, sans aucun effet ultérieur.

Pour nous, qui sommes devenus sceptiques à l'égard du centre des secousses, il nous faut chercher une explication plausible qui ne se rattache à aucun phénomène placé hors de notre portée. Il en est une qui est très simple pour les villes et les lieux habités, ruinés par des glissements superficiels.

Lorsque le sol s'y dérobe sous les bâtiments et qu'en peu de secondes, ils ne sont plus que décombres, il est impossible qu'il n'éclate pas des bruits épouvantables. On sait que les charpentes quand elles sont tordues ou brisées, font entendre des sortes de détonations, les maçonneries en s'écroulant provoquent des rumeurs assourdissantes; on ne saurait fracasser tout ce qui se trouve dans les maisons d'une ville de plusieurs milliers d'habitants sans produire un grand bruit. Conséquemment, ce même bruit est tout ce qu'il y a de plus naturel. Il en sera de même pour les maisons ébranlées et lézardées; tout ce qui s'y trouve en bois, tel que plafond, parquet, portes et fenêtres, toiture, fera entendre des craquements considérables, sans parler de ceux produits par les vitres, les glaces, la vaisselle, etc.

En rase campagne, l'écroulement des masses calcaires donnera lieu à des bruits avec secousses, mais le mouvement lent des masses argileuses sur des plans de glissement sera silencieux.

Il semble, en raison de tous ces faits, que l'idée de M. Falb ne soit pas applicable à bien des cas.

§ 81. — L'École italienne a-t-elle réalisé toutes les promesses qui sont contenues dans les citations que nous avons faites relativement aux prévisions et aux annonces des séismes, comme on le fait pour les tempêtes atmosphériques? C'est ce qu'il ne semble pas. Elle ne paraît pas être sortie de la période de préparation nécessaire à la solution de questions aussi importantes.

Tout en faisant d'ailleurs des réserves au sujet des affirmations de M. de Rossi, je crois cependant au résultat final de son œuvre parce qu'elle est basée sur l'observation des faits. Certains points de ses études ont reçu des confirmations précieuses. C'est ainsi que pour les phénomènes magnétiques, M. Moureaux, attaché à l'Observatoire du parc de Saint-Maur, près Paris, a découvert des anomalies singulières dans les lignes d'égale déclinaison. Elles sont décrites dans l'annuaire du Bureau des Longitudes de 1894, et, d'après M. de Lapparent, elles sont en rapport avec la disposition des couches terrestres.

Je ferai remarquer en passant que ces anomalies fournissent un

exemple frappant de l'écart qui existe entre les tracés théoriques basés sur quelques observations et la constatation patiente et locale des réalités. Les phénomènes naturels sont d'une complexité qui exclut ordinairement les allures simples de la ligne droite ou du cercle. On a vu aussi que les secousses séismiques faisaient subir des perturbations à l'aiguille aimantée : il semble qu'il faille distinguer ces perturbations de la propagation des secousses.

Les dégagements de gaz sont souvent constatés dans les sondages, les fouilles de fondations pour ouvrages d'art, comme il est arrivé au viaduc de Royat, sur la ligne de Clermont-Ferrand à Tulle, ou dans les percements de souterrain. Celui du col de Cabres a été entravé par des gaz inflammables qui ont fait irruption dans les travaux en produisant une explosion; pour assurer l'aérage, il a fallu recourir à un trou de sonde de 0,50 *m* de diamètre sur 190 *m* de profondeur, qui a été exécuté par MM. Lippmann. Dans les régions pétrolifères des États-Unis d'Amérique, des dégagements de gaz ont été utilisés industriellement. Le grisou envahit aussi les houillères, mais c'est un phénomène encore obscur, qui peut être motivé par des causes bien diverses.

Quant aux sons microphoniques, *la Revue scientifique* de 1888, contient la description d'un géomicrophone imaginé par M. Firmin Larroque qui l'a confié à M. Vallapegas afin d'ausculter pour ainsi dire les volcans du Sud-Amérique. Les observations pour quinze d'entre eux sont très curieuses. Les zones d'ébranlement acoustique s'étendent plus loin qu'on ne l'a supposé jusqu'ici; quelques volcans au repos, supposés éteints pour toujours, ont donné des signes d'agitation dans leurs profondeurs.

Tout cela vient corroborer les observations de M. de Rossi et de ses adhérents : on peut craindre toutefois que M. de Rossi ne soit trop prompt à généraliser certaines constatations fournies par un sol aussi volcanique et aussi tourmenté que celui du Latium et de la Toscane. Il est probable que les bassins stratifiés d'une grande épaisseur comme ceux de la France ne lui en fourniraient pas de correspondantes.

Enfin, il semble que les appareils séismographiques, destinés surtout à l'étude des microséismes, doivent servir seulement à se rendre compte des prodromes des séismes et des circonstances qui les concernent dans les seules régions voisines; ce sont des dispositifs bien délicats qui supporteraient difficilement des secousses violentes. Quant aux cataclysmes qui bouleversent tout,

l'observateur serait alors enseveli au milieu des débris de ses instruments.

Il ne faut pas oublier l'école que nous pouvons appeler japonaise, bien qu'un Anglais, M. John Milne, soit à sa tête. Nous avons vu qu'il est resté sous l'influence — assez mitigée — de Robert Mallet. Mais il doit s'occuper de cas tout spéciaux que nous n'avons pas considérés, car les séismes de ces pays semblent se relier aux phénomènes volcaniques; des centres d'ébranlement peuvent alors causer des secousses.

Avec les nombreux observatoires dont M. Milne dispose et les phénomènes journaliers que le pays lui fournit, on ne saurait douter que la vérité se dégagera enfin d'études si persévérantes et si étendues.

M. de Rossi et M. John Milne personnifient la séismologie nouvelle; malgré les réserves qu'on peut adresser à leurs idées, on doit avoir la ferme confiance que des résultats très sérieux seront acquis par les nouveaux services séismiques tant du Japon que de l'Italie.

TROISIÈME PARTIE

CONSIDÉRATIONS SUR LA STABILITÉ DES TERRAINS SUPERFICIELS DE L'ÉCORCE TERRESTRE

§ 82. — L'enquête à laquelle nous venons de nous livrer a été fructueuse : elle a même dépassé les espérances que je pouvais concevoir, lorsque je me suis décidé à l'entreprendre. Le rôle considérable des mouvements superficiels des terrains en ressort d'une façon éclatante.

A Lisbonne, le désastre a été dû surtout au mouvement du terrain où se trouvait le quai et la partie basse de la ville. Des éboulements énormes se sont produits dans les montagnes du Portugal.

La cause principale et peut-être unique de la grande catastrophe de la Calabre en 1783 a été l'instabilité des alluvions granitiques d'une plaine très étendue.

Dans la Basilicata, en 1857, les plaines restent immobiles, diverses collines d'argile et de calcaire sans consistance, sur lesquelles sont bâties les villes, éprouvent des glissements et font des milliers de victimes.

Le tremblement de terre d'Ischia présente des éboulements sérieux et de longues crevasses. Les renseignements font défaut pour expliquer les dommages dans les villes.

En Andalousie, les parties hautes de la sierra Tejeda ont des mouvements superficiels importants. La ville d'Alhama doit sa ruine à une telle circonstance. Sur le littoral de Nice à Gênes, les hauteurs restent en repos. Sauf un cas spécial, tous les désastres ont lieu sur certaines plages, mais seulement sur les terrains d'alluvion, à l'exclusion des couches anciennes qui leur sont immédiatement contiguës. On ne s'est pas rendu compte du mécanisme de ces désastres, mais les crevasses d'Albissola témoignent en ce point d'un mouvement superficiel.

§ 83. — Avant d'aller plus loin, il est nécessaire que je revienne sur les travaux d'assainissement qui ont été exécutés pour le chemin de fer du littoral ligure ; j'ai dit que des glissements ou éboulements avaient eu lieu, et qu'il avait fallu en

déterminer la cause, étudier les mesures nécessaires pour les consolider, et enfin procéder aux travaux destinés à assurer la stabilité de la plate-forme du chemin de fer.

La cause de ces mouvements a été recherchée au moyen de puits et galeries, de manière à déterminer d'une façon certaine l'étendue des parties en éboulement : l'Ingénieur chargé de ce soin devait *voir de ses yeux* et *toucher de sa main* le plan de glissement sur lequel le mouvement s'opérait. Après avoir rapporté le résultat de ses investigations sur des plans et des profils, la cause apparaissait certaine, et nulle théorie n'était nécessaire. Les mesures à prendre s'ensuivaient, et la consolidation de la voie a toujours été obtenue, grâce aux dispositions imaginées par le Directeur des Travaux, M. Siben, Ingénieur des Ponts et Chaussées de France, et qui est mort depuis un certain nombre d'années.

On pouvait faire remonter aux travaux du chemin de fer l'origine des éboulements dont j'ai parlé déjà ; il y a eu des cas où il n'en était pas ainsi.

Dans la partie comprise entre Gènes et la Spezzia, il est arrivé un fait bizarre au premier abord. Un souterrain était ouvert dans un calcaire quartzeux qu'il fallait faire sauter à la mine. Les maçonneries se mettaient en mouvement sans qu'on pût d'abord en découvrir la cause ; après une tempête suivie de nouvelles dislocations, l'ingénieur résident eut l'idée d'explorer, avec plus de soin que jamais, le contrefort à traverser dont le pied plongeait dans la mer. Il reconnut que celle-ci en affouillait la base et causait tout le mal. Un mur avec enrochement suffit pour protéger la masse et lui rendre sa stabilité.

Les travaux n'entraient donc pour rien dans cet affouillement de la mer. Dans cette même portion de Gènes à la Spezzia, il était nécessaire de traverser un cône de déjection toujours en mouvement parce que le pied en était rongé par la mer. Les eaux furent canalisées de manière à empêcher leur action nuisible en amont du chemin de fer ; en aval, un mur empêcha toute action de la mer sur la partie inférieure ; enfin les parties meubles voisines du chemin de fer furent assainies et rendues stables au moyen de puits et galeries de drainage.

§ 84. — J'ai été témoin également de ce qui s'est passé dans cet ordre d'idées, au chemin de fer de Clermont-Ferrand à Tulle, où la traversée de certains terrains volcaniques ou stratifiés a présenté de sérieuses difficultés.

Aux environs de Clermont-Ferrand, on voit dans les murs qui soutiennent et délimitent les champs et les vignes, de nombreuses traces de glissements spontanés ; les habitants citent des phénomènes semblables qui se sont produits de mémoire d'homme, sur une échelle relativement notable. L'exécution des terrassements du chemin de fer devait en provoquer de nouveaux. Il y eut aux alentours de Clermont-Ferrand, comme sur l'embranchement d'Eygurande à Bort, des tranchées où les voies provisoires furent soulevées avec crevasses et éboulements supérieurs, ce qui montrait que les plans de glissement étaient au-dessous du niveau de ces voies. Il est arrivé aussi que ces mêmes plans de glissement étaient placés au-dessus de la plate-forme du chemin de fer.

Les causes de ces éboulements furent nettement déterminées par des travaux de recherche, puis on s'occupa de la consolidation nécessaire à la sécurité de la voie.

§ 85. — Ces informations nous montrent d'abord qu'en adoptant la méthode que j'ai suivie dans cette étude, je n'ai fait que reprendre celle que j'avais vu adopter avec succès dans le cours de ma carrière active ; elles prouvent ensuite les grands services qu'a rendus cette méthode dans des circonstances fort critiques, car ces éboulements de masses de terre sont les plus redoutables accidents pour l'exploitation d'un chemin de fer ; enfin, elles sont destinées à faire mieux comprendre l'idée dont je poursuis la démonstration ; le moment est d'ailleurs venu de la faire connaître.

Si nous jetons un dernier coup d'œil en arrière, nous voyons que nous nous sommes d'abord rendu compte de l'état présent de la séismologie, ce qui ne nous a laissé que des doutes ; mettant de côté toutes les théories, nous nous sommes mis en présence des *réalités :* les enseignements qu'elles nous ont fournis ont été résumés au commencement de ces *considérations :* ils nous ont montré combien les glissements importants de terrains ont été fréquents. Je viens de rappeler les études et les résultats qui concernent la consolidation des éboulements survenus dans l'exécution de chemins de fer. Nous sommes ainsi amenés aux conclusions qu'on peut formuler comme suit :

Les grands désastres produits par les tremblements de terre non volcaniques sont le plus souvent dus au manque de stabilité des couches superficielles de l'écorce terrestre ;

Les éboulements aux abords des chemins de fer se rapportent également, mais sur une échelle très réduite, à cette grande question de stabilité.

Cette même question doit former désormais une branche nouvelle des connaissances relatives à l'art de l'Ingénieur.

§ 86. — Les conclusions qui précèdent sont de nature à nous suggérer des déductions utiles, parmi lesquelles je noterai les suivantes :

Il est nécessaire pour l'étude complète d'un séisme, de réunir des données statistiques complètes sur la population totale de la région, le nombre des tués et des blessés, sur le nombre total des maisons, et celui des maisons abattues ou simplement lézardées.

Nous savons qu'il faut étudier de très près les questions géologiques des terrains bouleversés. Les annexes du rapport de MM. Fouqué et Lévy, sur le tremblement de terre d'Andalousie, sont à cet égard un véritable modèle à suivre.

La plupart des informations diverses recueillies jusqu'ici par les séismologues sont utiles à connaître et à étudier.

Les renseignements qui précèdent ne sont pas suffisants; il faut y ajouter le détail de tout ce qui se rapporte à l'état d'équilibre des terrains soumis au tremblement de terre, glissements, crevasses et autres circonstances relatives aux parties en mouvement. Il est nécessaire pour cela de dresser des plans, de faire des nivellements, et même d'exécuter des puits, galeries et sondages si les circonstances le permettent.

Quand il s'agit d'un séisme grave, les mouvements de la première heure se continuent en des points déterminés : nous avons vu que la Calabre s'était agitée pendant quatre ans avant de trouver un état d'équilibre. L'étude de ces phénomènes secondaires serait des plus fructueuses pour les conséquences à en tirer. Elle serait importante surtout dans les villes qui ont été endommagées. Connaissant les parties manquant de stabilité, on pourrait étudier le moyen de les consolider, et chercher à empêcher le retour de calamités qui semblent avoir en certains points, une périodicité fatale, faute de moyens pour les prévenir.

Enfin, une autre conséquence de ces conclusions est d'imposer l'union des séismologues, des ingénieurs, et des géologues.

Les Ingénieurs devront être familiarisés avec ce qui se rapporte à la question nouvelle de la stabilité des couches superficielles

terrestres, et connaître par conséquent les procédés appliqués déjà dans les grands travaux publics pour consolider les éboulements de masse. Malheureusement, les publications qui s'y rapportent sont rares; il me paraît donc utile d'émettre le vœu que ceux qui ont exécuté avec succès de semblables travaux, veuillent bien divulguer les précieux résultats de leurs études et de l'expérience qu'ils ont acquise.

Il y a dans cet ordre d'idées des problèmes à examiner qui, à divers points de vue, présentent un haut intérêt, et qui sont susceptibles de prendre une importance inattendue.

II. VOLCANS

§ 87. — La question des volcans a fait de grands progrès dans le dix-neuvième siècle; on a observé avec soin tous les phénomènes extérieurs, analysé les gaz, examiné les laves, etc. Grâce au travail d'affouillement de la mer, on a pu connaître la section d'un volcan jusqu'au niveau du sol, et se rendre compte de la manière dont se forme le cône d'éruption. Il reste pourtant à savoir ce qui se passe dans les parties souterraines; le problème ne semble guère comporter de solution, car il est impossible d'explorer seulement le cratère d'un volcan en activité.

Il existe cependant une solution que je me contenterai d'indiquer. Elle consisterait à laisser les volcans qui sont pour ainsi dire vivants, et à s'adresser à un cadavre, c'est-à-dire à un volcan éteint, et d'y pratiquer les puits, galeries et sondages nécessaires pour connaître ce qui se passe au-dessous de la surface du sol. Il en existe beaucoup en Auvergne et dans bien d'autres pays.

Il s'agirait d'une dépense considérable, mais qui serait échelonnée par annuités, car ce serait un travail de longue haleine. Les résultats obtenus seraient certainement des plus intéressants. La géothermique y gagnerait bien des faits nouveaux : peut-être arriverait-on jusqu'au foyer d'activité chimique entrevu par M. de Rossi.

Repousser cette recherche comme inutile ne semble guère admissible dans l'époque où nous sommes.

N'a-t-on pas dit que la vie était impossible dans les mers au dessous d'une certaine profondeur, et qu'il était complètement inutile d'y faire des recherches. Il a fallu que des câbles sous-marins vinsent donner la preuve du contraire, et montrer l'intérêt de semblables recherches.

Ne pensait-on pas connaître tout ce qui concerne les satellites de Jupiter découverts par Galilée, il y a deux cent quatre-vingt quatre ans, et pourtant M. Pickering, à Arequipa, découvre en eux d'étranges anomalies? Quand il s'agit de recherches se rapportant à des choses inexplorées jusqu'ici, il ne semble pas qu'on puisse répondre comme autrefois : « A quoi bon? »

Ne désespérons donc pas que cette idée ne vienne un jour à être réalisée.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

I. — SÉISMES

PREMIÈRE PARTIE

ÉTAT ACTUEL DE LA SÉISMOLOGIE

DEUXIÈME PARTIE

OBSERVATIONS ET CRITIQUES SUR LES FAITS QUI PRÉCÈDENT

TROISIÈME PARTIE

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

Ch.-V. TACONNET

PAR

M. H. BOBIN

Charles-Vincent Taconnet, né à Paris le 8 mai 1860, entra à l'École Centrale en 1879 et en sortit avec le diplôme d'Ingénieur des Arts et Manufactures en 1882; il fit immédiatement son volontariat à Orléans, dans l'artillerie, où il devint plus tard sous-lieutenant de réserve.

Charles Taconnet entra, en novembre 1883, au service de la Compagnie des Chemins de fer garantis des Colonies françaises, au bureau du Matériel fixe et roulant.

Il apporta immédiatement dans son travail une intelligence, une ardeur, une passion telles, qu'en quelques années il devint, pour cette partie du service, un très précieux auxiliaire.

En décembre 1885, il passa de la ligne de Saïgon à Mytho, alors en exploitation, à la Compagnie des Chemins de fer du Sud de la France, où il devint rapidement le chef du service du Matériel fixe et roulant.

Il étudia, avec beaucoup d'ingéniosité, des appareils de voie à trois et quatre rails, qui furent expérimentés devant une Commission ministérielle et qui lui valurent les palmes académiques.

Taconnet était membre de la Société des Ingénieurs Civils de France depuis 1889.

En 1890, il était nommé secrétaire rapporteur de la Section chargée par la Société de l'étude du matériel fixe pour chemins de fer, ayant figuré l'année précédente à l'Exposition.

A la suite de nombreuses conférences, tenues à ce sujet, sous la présidence de notre regretté collègue et ancien Président Mathieu, il produisit le rapport, justement apprécié, qui a été reproduit *in extenso* dans le *Bulletin* de la Société du mois d'août 1891.

Le 15 décembre 1891, il entra dans la famille Mathelin et son

beau-père lui confia la direction de la maison Mathelin et Garnier, si honorablement connue des Ingénieurs qui s'occupent spécialement de distributions d'eau et de gaz, ou qui ont à utiliser les produits des fonderies de fer ou de bronze.

C'est là qu'après deux années et demie à peine de bonheur et de travail, Charles Taconnet ressentit les premières atteintes du mal terrible qui, le 23 octobre dernier, l'enleva si prématurément à l'affection de sa jeune femme, de sa famille et de ses nombreux amis.

CHRONIQUE

Nº 179

SOMMAIRE. — Le « Rapid transit » dans les grandes villes. — Les nouveaux paquebots transatlantiques américains. — Explosion de 27 chaudières. — Les chemins de fer en Chine. — La marine commerciale à vapeur en Russie.

Le « Rapid transit » dans les grandes villes. — M. de Busschère, Ingénieur en chef des chemins de fer de l'État belge, a donné dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles spéciales de Gand*, une note très importante sur le « rapid transit » dans les grandes villes, et en particulier à Londres et à New-York.

Cet ingénieur fait remarquer tout d'abord que les objections qu'on entend souvent faire aux projets de transport rapide dans les villes sont exactement les mêmes que celles qu'on faisait à l'origine des chemins de fer, et il a cité des exemples très curieux de l'opinion sur cette question de personnages dont on aurait pu attendre de moins courtes vues.

La première partie de la note dont il s'agit est la traduction d'un article paru dans le numéro d'octobre 1892 du *Quarterly Review*, intitulé : *Rapid transit in London* et dont le but est d'appuyer énergiquement les nouveaux projets de chemins de fer électriques souterrains, proposés pour donner satisfaction à l'intense circulation de Londres et de faire justice des difficultés que la coalition des intérêts privés avait semées autour de ces entreprises.

Nous croyons intéressant de reproduire ici les conclusions dont l'auteur fait suivre cette traduction et qui, laissant de côté les chemins de fer aériens et souterrains qui reliant à travers une ville des réseaux de chemins de fer y ayant leur terminus, genre de voies dont le type est le Stadtbahn de Berlin, ne portent que sur les lignes véritablement urbaines ou suburbaines généralement établies par l'initiative privée et qui ne peuvent compter sur aucun trafic de transit.

Il ne faut pas remonter bien loin dans le passé, dit M. de Busschère, pour retrouver nos villes, même les plus grandes, complètement privées de moyens d'intercommunication rapide. Les habitants assez riches pour payer le prix d'une course en voiture étaient, pour ainsi dire, les seuls qui pouvaient se déplacer avec quelque célérité d'un point à un autre. En Europe, les omnibus, dits de pavé, ont été les premiers moyens publics d'intercommunication à bon marché. Ils ont pris un rapide

développement à Paris et à Londres et s'y sont acclimatés au point que les lignes d'omnibus qui les sillonnent en tous sens ne se sont guère laissé entamer par la concurrence des tramways.

Aux Etats-Unis, la manière qu'on peut qualifier d'abominable dont, à fort peu d'exception près, les rues sont macadamisées, même dans les plus grandes villes, rendrait intolérable un voyage en omnibus. Aussi y a-t-on eu recours, dès que le besoin d'intercommunication accélérée s'y est fait sentir, à des omnibus avec roues à bandages et rebord roulant dans des ornières. On les appelait *tramcars* et la voie ferrée ainsi établie a été appelée *tramway*. Les tramways se sont rapidement développés dans toutes les grandes villes d'Europe et d'Amérique.

La facilité avec laquelle on peut actuellement, dans toutes les villes de quelque importance, se déplacer d'un point à un autre sans fatigue et avec une rapidité assez grande, a entièrement modifié les conditions dans lesquelles les villes pouvaient autrefois se développer et déborder dans leur banlieue.

La limite de la partie bâtie de cette banlieue est, en quelque sorte, imposée par la condition que celui qui l'habite et qui a ses occupations dans le centre de l'agglomération ne doive pas consacrer un temps trop long pour effectuer le trajet entre sa demeure et le siège de son travail. Quand le temps n'avait pas la même valeur que maintenant et que les trajets devaient s'effectuer à pied, la limite de l'agglomération coïncidait assez exactement avec une circonférence dont tous les points étaient à environ une demi-heure de marche du centre. A mesure qu'on a développé et facilité les moyens de communication entre le centre de l'agglomération et son périmètre, celui-ci a rétrogradé, l'agglomération s'est étendue et la population, devenue plus nombreuse, s'est portée vers les faubourgs. Ce phénomène a été surtout remarquable dans les grandes cités de l'Angleterre et des Etats-Unis, et la différence sous ce rapport a eu pour cause que les Anglais et les Américains, au lieu de construire en hauteur de façon à pouvoir loger dans une seule maison plusieurs ménages, ont adopté pour l'érection des maisons nouvelles dans la banlieue le système des villas pour un seul ménage. A ce point de vue, Londres, qui, à l'origine du siècle, comptait à peine 900 000 habitants, peut être considéré moins comme une ville que comme un pays couvert d'habitations, et il est impossible de prévoir où s'arrêtera son prodigieux développement en présence de l'augmentation continuelle de ses moyens de transport intérieurs et de la facilité avec laquelle on peut s'y déplacer d'un point à un autre.

Les villes, en même temps qu'elles se développent, changent de caractère. Les moyens de transport permettent à l'habitant d'avoir sa demeure loin du siège de son travail, les parties centrales se tranforment en quartiers d'affaires, les parties environnantes en quartiers habités. Pendant que la zone extérieure se peuple de plus en plus, le cercle intérieur se dépeuple, et on y a, comme à Londres, une population de nuit et une de jour.

Il n'y a pas que Londres où on constate ce phénomène de l'augmentation extraordinaire de la population de la banlieue. Chicago et Berlin ont, dans ces trente dernières années, vu également le nombre de leurs

habitants s'accroitre dans des proportions énormes. Berlin, qui comptait le 1er janvier 1891 1 574 487 habitants, s'était accru pendant la période quinquennale 1885-90 de 250 000 habitants. Pendant le même laps de temps, la population avait augmenté de 264 700 à Hambourg, de 64 000 à Leipzig, de 78 000 à Munich, de 43 000 à Cologne, de 42 000 à Magdebourg et de 30 000 à Dresde. On connait le développement énorme de New-York, Philadelphie et Boston.

Il n'est nullement surprenant, lorsqu'on considère l'accroissement si rapide de certaines grandes villes, que les omnibus ordinaires aient été jugés insuffisants pour le transport des habitants des parties les plus excentriques et qu'on ait cherché, à une époque caractérisée par l'expression *time is money*, soit à remplacer sur les tramways la traction animale par la traction électrique ou la traction funiculaire, soit à raccorder purement et simplement la banlieue avec le centre au moyen de chemins de fer. Sur les 18 710 *km* de tramways existant dans les différentes villes de l'Union américaine en 1891, il y en avait 7 170 à traction animale, 9 500 à traction funiculaire, 1 000 à traction électrique et 1 000 à traction à vapeur. Depuis lors, les trois derniers types de tramways ont augmenté considérablement, tandis que le premier a diminué dans la même proportion.

En Europe, on atteint plus vite qu'en Amérique la limite au delà de laquelle un chemin de fer au niveau des rues n'est plus possible. On s'y préoccupe davantage de la sécurité de la circulation ordinaire et c'est le motif pour lequel on y a marché si prudemment dans la voie des divers modes de traction mécanique. Tandis qu'en Amérique les tramways à traction mécanique peuvent être considérés comme les précurseurs des chemins de fer urbains, en Europe, au contraire, ces derniers ont précédé ceux-là. Fait digne de remarque, aucun moyen de transport nouveau n'est parvenu à supprimer ceux préexistants ; chacun de ceux-ci continue à remplir son rôle et à avoir son existence assurée pourvu qu'il soit établi dans des conditions qui répondent à son mode d'action.

Curtis Clarke indique pour les divers modes de communication urbaine les coûts kilométriques ci-dessous de premier établissement, armement compris :

Tramways à traction animale.	221 000 f
— — électrique	145 000
— — funiculaire.	1 087 000
Chemins de fer aériens.	5 à 6 1/2 millions.
— — souterrains, type Greathead. . .	3 1/2 à 5 —

Il donne, d'autre part, pour les frais d'exploitation, le tableau ci-dessous que nous reproduisons à titre d'indication :

Il est visible que la répartition des dépenses totales en dépenses partielles n'a pas été faite d'après des règles uniformes. On peut cependant conclure du tableau que les tramways à traction animale sont les plus coûteux d'exploitation et les funiculaires les plus économiques.

D'après Croes, les moyens d'intercommunication dans les très grandes agglomérations peuvent être classés de la façon suivante :

NATURE DU MOYEN de TRANSPORT	FRAIS D'EXPLOITATION par voiture-kilomètre en centimes			NOMBRE DE TICKETS délivrés par voiture kilomètre	DÉPENSE D'EXPLOITATION TOTALE par voyageur, en centimes
	Exploitation proprement dite	Autres dépenses	ENSEMBLE		
Tramways à chevaux					
1. New-York. — Moyenne pour 15 lignes (d'après les comptes rendus)	23,5	36,6	60,1	3,08	19,5
2. Chicago-South side 1891	39,8	22,9	62,7	3,12	20,1
3. Boston-West side 1891	36	48,6	84,6	3,94	21,5
4. Boston-Tramway avec voiture à un cheval et sans recoleur	23,3	26,5	49,8	»	»
Lignes électriques					
5. Boston West end	25,4	46,7	72,1	4,2	17,1
6. Moyenne de 10 lignes (d'après les comptes rendus)	17,8	26,0	43,8	2,2	19,9
7. City and South London 1891	17,1	26,9	44,0	3,1	14,2
Lignes funiculaires					
8. Moyenne de 10 lignes (d'après les comptes-rendus)	11,3	35,7	47,0	2,7	17.4
9. Chicago-South side 1891	10,0	21,1	31,1	2,2	14,1
10. Pont de Brooklyn 1387	7,3	36,0	43,3	3,5	7,9
— 1891	7.3	28	35,3	4,9	7,2
Chemins de fer aériens avec traction à vapeur					
New-York-Manhattan 1890	19,4	23,6	43,0	3,3	13,0
Brooklyn 1890	16,6	15,0	31,6	2,0	15,8

1° Moyens de transport avec une vitesse ne dépassant pas 600 pieds à la minute ou 7 milles à l'heure (environ 11 *km*); une vitesse plus grande offrirait du danger pour la circulation ordinaire. On peut les appeler *tram transit*.

2° Moyens de transport avec une vitesse double, soit 1 200 pieds à la minute (environ 22 *km* à l'heure) et avec des stations aussi rapprochées qu'il est possible de les avoir avec une telle vitesse moyenne. Cet espacement ne peut être inférieur à un tiers de mille (535 *m*). Nous l'appelons *quick transit*, c'est-à-dire transit accéléré.

3° Enfin il doit y avoir en plus un système de lignes transportant les voyageurs à une vitesse moyenne de 2 200 pieds à la minute (37 *km* à l'heure), ce qui exige pour les arrêts un espacement d'au moins 6 000 pieds (1,8 *km*). Cas lignes formeront le réseau de *rapid transit*. De plus grandes vitesses ne pourraient être atteintes que si les stations étaient encore plus espacées.

Ces trois espèces de transit correspondent respectivement aux trams à chevaux, aux trams électriques ou funiculaires et aux chemins de fer, peu importe leur mode de traction.

Il résulte de ce que nous avons dit relativement à l'extension graduelle et continue de la partie suburbaine, que c'est dans les directions radiales autour du centre de l'agglomération que les moyens d'intercommunication rapide rendront le plus de service, et que leurs tracés doivent être aussi voisins que possible de ceux des grandes artères particulièrement utilisées par ceux qui viennent de l'extérieur vers l'intérieur de la ville. Croes ne veut pas qu'on établisse ces lignes dans ces artères mêmes, parce que celles-ci sont généralement le rendez-vous des flâneurs, et qu'on augmenterait le nombre de ceux-ci si on leur donnait des moyens faciles d'arriver aux lieux de flânerie. Il est incontestable que la circulation des gens pressés est souvent entravée dans les rues fréquentées par la masse des gens oisifs qui y vont sans but et uniquement pour passer le temps.

Mais cet inconvénient n'est pas assez sérieux pour faire suivre aux lignes urbaines des tracés qui diminueraient les recettes sur lesquelles elles doivent pouvoir compter pour équilibrer les lourdes charges de leur capital de construction. L'événement a confirmé la vérité du double principe énoncé plus haut. Des chemins de fer contournant l'agglomération procurent rarement un avantage sérieux à la circulation urbaine et il ne faut pas aller plus loin que Bruxelles pour en être convaincu : tout le monde sait, en effet, que le mouvement des voyageurs des stations des chemins de fer de ceinture est insignifiant. On peut en dire à peu près autant de la Ceinture de Paris. Le Ringbahn Berlinois, mieux partagé, ne voit son trafic se développer que lentement. Enfin le Métropolitain de Londres doit en partie sa clientèle aux lignes qui y ont droit de passage. Curtis Clarke fait remarquer que toutes les villes européennes qui possèdent de telles lignes circulaires cherchent à les compléter en créant des lignes, soit diamétrales comme le Stadtbahn de Berlin ou le Métropolitain projeté pour Paris, soit simplement radiales, comme les nouvelles lignes électriques projetées à Londres sur le type du City and South-London.

Les chemins de fer urbains qui forment ce que Croes appelle le ***rapid transit*** doivent, lorsque la circulation ordinaire dans les rues est intense, être ou aériennes ou en tunnels profonds. Des chemins de fer établis au niveau des rues, comme celui de la porte de Namur au Bois de la Cambre, à Bruxelles, ne sont admissibles qu'à la condition de réduire suffisamment la marche des trains, ce qui fait perdre le grand bénéfice de la vitesse.

Le type des chemins aériens est le Manhattan Elevated de New-York. Il est incontestable qu'ils constituent un voisinage désagréable sous bien des rapports pour les habitants des rues dans lesquelles ils sont établis, parce que les trains roulent à la hauteur du premier étage des maisons. On peut aussi les critiquer au point de vue de l'esthétique. Par contre, ils sont agréables pendant les heures claires de la journée pour le public voyageur qui voit défiler le panorama de la ville, et ils sont beaucoup plus commodes et plus faciles d'exploitation. Nous dônnerons une idée

de leurs avantages au point de vue du service en disant que le 12 octobre 1892, lors de la revue donnée à l'occasion des fêtes de Christophe Colomb, les diverses lignes du Manhattan ont transporté ensemble 1 075 537 voyageurs, et la ligne de la 3e Avenue, longue de 13 570 *m*, a été parcourue, dans les deux sens réunis, par 1 422 trains. Ce sont ces avantages qui l'ont fait adopter pour le Métropolitain de Liverpool récemment livré à l'exploitation.

Lorsque les rues ne sont pas assez larges pour permettre l'établissement de la construction en fer qui supporte la voie aérienne, il faut forcément adopter le système plus coûteux des chemins de fer souterrains établis à une profondeur suffisante pour que la question des acquisitions de terrain et celle des indemnités pour dégradation aux propriétés de la surface n'interviennent pas dans le chiffre des dépenses. Cette profondeur ne doit pas être uniforme, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire que le tunnel soit partout à la même distance de la surface. Dans une ville accidentée comme Bruxelles, on peut profiter de ce qu'on est en tunnel pour adopter un profil favorable à l'exploitation. D'un autre côté, on ne doit pas perdre de vue que, toutes choses égales d'ailleurs, un chemin de fer souterrain attirera d'autant plus le voyageur que celui-ci doit descendre moins profondément pour prendre les trains. En outre, lorsque les tunnels sont profonds, il faut aux stations des ascenseurs hydrauliques de très grande capacité permettant de descendre en une fois et de remonter de même tous les voyageurs qui doivent prendre un train ou en descendre. Ces ascenseurs détournent du chemin de fer ceux qui n'ont pas un trop grand parcours à faire à pied, et ils ne dispensent en aucun cas de la construction d'escaliers larges et commodes permettant de parer aux éventualités de non-fonctionnement des appareils et de suppléer en cas d'afflux extraordinaire de voyageurs. A ce point de vue encore, il convient de ne pas exagérer la profondeur. Au tunnel de la Mersey les ascenseurs ont jusqu'à 27 *m* de profondeur.

On ne doit pas perdre de vue, en ce qui concerne les chemins de fer souterrains, que le coût des tunnels est directement proportionnel à leur section. L'expérience parait indiquer que, si la ligne urbaine ne doit pas se raccorder à un chemin de fer extérieur, une section de tunnel de 3,50 *m* pour ligne à simple voie suffit à tous les besoins *(A suivre.)*

Les nouveaux paquebots transatlantiques américains. — On sait que la Compagnie transatlantique américaine a été autorisée à acheter les paquebots anglais de la ligne Inman *City of Paris* et *City of New-York*, qui ont pris le nom de *Paris* et *New-York*, sous la condition de faire construire en Amérique deux autres paquebots d'au moins même puissance destinés à faire avec les premiers le service entre Southampton et New-York.

Le premier de ces navires a été mis à l'eau le 12 de ce mois, des chantiers Cramp, à Philadelphie, en présence du Président des Etats-Unis et d'une foule de spectateurs évaluée à 40 ou 50 000 personnes. Voici les dimensions principales du *Saint-Louis*; c'est le nom de ce navire, l'autre s'appellera le *Saint-Paul*.

Longueur totale.	170,00 *m*
Longueur entre perpendiculaires	163,17
Largeur maxima	18,91
Creux sous le pont supérieur	15,55
Nombre de ponts	5
— de compartiments étanches.	24
Ecartement maximum des cloisons	10,06 *m*
Déplacement à 26 pieds (7,93 *m*) de tirant d'eau. . .	16 000 *t*
Tonnage (registered)	11 000

Rappelons, en passant, que les longueurs totales et largeurs sont pour le *Paris*, 170.80 *m* et 19,25 *m* et pour le *Lucania*, 189,70 *m* et 19,90 *m*, les tonnages de ces deux navires étant respectivement, 10 500 *tx* et 13 000 *tx*.

Les paquebots américains ont aussi deux hélices, ces hélices ont leurs arbres contenus dans des prolongements de la coque, de sorte qu'ils n'aient aucune partie visible à l'extérieur et qu'il n'y ait pas besoin de supports rapportés au dehors. Les propulseurs seront actionnés chacun par deux machines verticales à quadruple expansion, d'une puissance collective de 20 000 *ch* indiqués. Chaque machine a six cylindres agissant sur quatre manivelles. C'est la première fois que la quadruple expansion est appliquée à des machines de très grande force; on n'avait pas encore dépassé 4 000 *ch*.

La vapeur sera fournie, à la pression de 14,2 *kg* (200 livres), par six chaudières à double façade et quatre chaudières simples. Ces chaudières comportent quarante-huit foyers, système Purves, et des tubes Serve; elles ont une surface de grille de 77 m^2 et une surface de chauffe de 2 790 m^2 et sont desservies par deux cheminées. En dehors des machines principales il y a quarante-neuf machines auxiliaires pour les différents services, ventilation, éclairage, manœuvres, etc. Les approvisionnements de charbon suffisants, bien entendu, pour le trajet de New-York à Southampton, sont tels que le paquebot, employé comme croiseur auxiliaire, pourrait marcher pendant soixante-six jours à la vitesse de 10 à 12 nœuds, c'est-à-dire effectuer à cette vitesse un parcours de 16 à 19 000 milles marins, soit plus des trois quarts du tour du monde.

Le *Saint-Louis* et le *Saint-Paul* ont des aménagements pour 320 passagers de première classe, 200 de deuxième et 800 d'entrepont. Les installations sont à la hauteur de tout ce qui s'est fait de mieux dans ce genre et aucune précaution pour assurer le confortable et la sécurité n'a été épargnée.

On ne s'attend pas à ce que la vitesse de ces paquebots atteigne celle du *Campania* et du *Lucania*, mais elle dépassera légèrement celle du *Paris* et du *New-York*. La maison Cramp a garanti une vitesse de 20 nœuds et espère la dépasser.

On commence le montage des machines du *Saint-Louis* et les aménagements intérieurs et il pourra commencer son service le printemps prochain. Le travail de la coque du *Saint-Paul* est très avancé et ce paquebot pourra être mis à l'eau prochainement.

On doit faire remarquer que ces deux paquebots sont les plus grands

navires qui aient été encore faits aux Etats-Unis et qu'ils occupent dans le monde le second rang, comme tonnage, venant immédiatement après le *Lucania* et le *Campania*, le *Great Eastern* n'existant plus.

Explosion de vingt-sept chaudières. — Une catastrophe qui rappelle par son importance la célèbre explosion de la Friedenshütte en 1887 (Voir chronique de juin 1888, page 791), s'est produite, le 11 octobre dernier, à la houillère Henry Clay, en Pensylvanie.

Il y avait une batterie de trente-six chaudières accolées et recouvertes d'une toiture en tôle ondulée. Sans que rien fît prévoir l'accident, la première des chaudières, du côté ouest, fit explosion et vingt-six autres suivirent successivement et presque sans interruption ; au bout de quelques instants il ne restait plus qu'une masse informe de débris, de briques, de bois et de tôle d'où sortaient des tuyaux tordus et déchirés. Au moment de l'accident, on n'avait pas encore repris le travail de jour, c'était sept heures du matin et beaucoup d'ouvriers étaient à se chauffer près des chaudières; ils furent tous projetés dans tous les sens, cinq furent tués et une demi-douzaine blessés.

Il reste neuf chaudières, mais elles ont subi des avaries qui les rendent impropres au service; des morceaux de tôle énormes ont été projetés à de grandes distances, on a trouvé une moitié de chaudière sur une hauteur à 400 *m* du lieu de l'accident.

On attribue la catastrophe à la corrosion des tôles par les eaux de la mine dont on se servait pour l'alimentation pendant la sécheresse de l'été. On employait bien de la chaux pour neutraliser l'acidité de l'eau, mais il paraît que cela n'a pas empêché la corrosion.

Les pertes matérielles sont énormes et 1 600 hommes sont sans em ploi pendant la durée des travaux de reconstruction, qu'on évalue à six semaines seulement.

Les chemins de fer en Chine. — Nous trouvons dans le *American Engineer and Railroad Journal*, un curieux article sur l'histoire des chemins de fer en Chine, histoire qui n'est pas encore longue, comme on sait. La date de la première apparition des chemins de fer dans l'Empire du Milieu remonte à 1863. A cette époque, sir Macdonald Stevenson chercha à fonder une Compagnie pour établir en Chine des chemins de fer et des entrepôts, mais il n'aboutit pas et les choses en restèrent là jusqu'en 1873, époque à laquelle le roi des Belges et le duc de Sutherland s'intéressèrent dans la formation de la Compagnie du chemin de fer de Wo-sung. Les circonstances qui firent échouer cette entreprise forment un curieux chapitre de l'histoire des chemins de fer et méritent d'être rapportées.

Le trafic entre Shangai et Wo-Sung qui sont distants de 15 *km* environ est très important et depuis longtemps la nécessité s'imposait d'un mode de transport plus rapide que la navigation sur la rivière. Les promoteurs de la Compagnie, après de longues et laborieuses négociations, réussirent à obtenir l'autorisation d'établir une route entre Shangai et Wo-Sung et profitèrent de cette autorisation pour poser une voie de chemin de fer sur le bord de la route. En présence de cette extension donnée

à l'autorisation, les autorités chinoises restèrent muettes sans montrer signe d'approbation ni de désapprobation. Mais l'hostilité de la population créa beaucoup de difficultés. L'écartement des rails était de 0,75 *m* et les locomotives pesaient 15 *t*. La ligne fut ouverte le 1er juillet 1875; cela alla bien d'abord, mais, au mois d'août suivant, un Chinois fut renversé et tué par un train et cet accident décida du sort de la Compagnie. Les autorités chinoises, qui n'attendaient qu'une occasion pour intervenir, dirent: « On vous a donné la permission de faire une route, mais il n'y a pas été question de rails, et vos diables de fer ne peuvent pas rester; vous ne devez pas tuer nos gens et il ne faut pas que l'accident qui s'est produit se renouvelle ». La Compagnie n'en continua pas moins ses opétions pendant une année encore, mais elle dut finalement céder et enlever ses rails qui, chose curieuse, ont été utilisés pour l'importante ligne qui a été concédée ultérieurement dans l'île de Formose.

La seconde tentative eut lieu dix ans plus tard aux mines de houille de Kaï-Ping, dans la province de Pe-Chi-Li. Le coût de transport du charbon était très élevé parce qu'on devait le porter dans des chars indigènes de la mine au fleuve. Les Ingénieurs de la mine avaient depuis longtemps le désir d'établir une voie ferrée, mais l'expérience de la Compagnie de Wo-Sung n'était pas engageante. Heureusement, le vice-roi de la province, Li Hung Chang, était favorable aux idées européennes. On posa des rails, on monta dans la mine une locomotive envoyée démontée d'Europe, on remplaça les chars indigènes par des wagonets, et, cela fait, on invita le vice-roi à venir visiter la nouvelle installation. Li Hung Chang accepta et vint avec une suite nombreuse. On lui montra la machine qu'on avait baptisée la *Fusée Chinoise* et on le décida à monter dans le train qui fit un parcours de 20 *km* aller et retour. Au retour, le haut fonctionnaire daigna exprimer sa satisfaction. Tout le monde la partagea naturellement et le nouveau mode de transport devint rapidement populaire. La cause des chemins de fer était gagnée.

La Compagnie obtint l'autorisation de prolonger sa ligne jusqu'à la mer; ce prolongement fut établi à la voie normale. Le capital fut souscrit par des particuliers, notamment par des marchands chinois. En retour, le Gouvernement fournit des fonds pour la construction d'un embranchement allant au nord jusqu'à Lan-Chow et ne tarda pas à prendre la direction complète de cette ligne. On a étudié le prolongement de Tien-Tsin à Pékin, mais des difficultés de l'ordre politique et financier ont empêché jusqu'ici la réalisation de ce projet. La ligne qui va actuellement de Tien-Tsin au terminus actuel Shang-Kwan, a un bon trafic de voyageurs et transporte une grande quantité de marchandises qui précédemment devaient être portées sur des chars du pays ou à dos de mulets. Il n'y a plus d'opposition et les chemins de fer sont accueillis avec faveur. Les Chinois sont de bons terrassiers, on peut en faire des chauffeurs, mais les conducteurs et les mécaniciens sont jusqu'ici des Européens, bien qu'on s'occupe en ce moment de dresser les indigènes à ces emplois. Quant à l'état-major, il se recrutera probablement longtemps encore parmi les Européens et surtout les Anglais qui tiennent en Chine à peu près toutes les affaires entre leurs mains.

Nous avons donné dans la Chronique de décembre 1888, page 914,

quelques renseignements sur le chemin de fer de Tien-Tsin à Tong-Ku et Tong-Shan.

La marine commerciale à vapeur de la Russie. — D'après les statistiques publiées par l'administration des douanes russes, il y avait au 1er janvier 1894 sur les mers extérieures 203 vapeurs jaugeant ensemble 109 872 *tx*. Ce total se répartissait comme suit : mer Noire, 146 vapeurs et 89 100 *tx* ; mer Baltique, 48 et 18 690 ; mer Blanche, 9 et 1 992. Sur ces 203 navires, seulement 39 ou 20 0/0 avaient été faits en Russie. Il faut ajouter, pour la mer Caspienne, 123 vapeurs jaugeant 53 559 *tx* dont 53 ou 43 0/0 étaient de construction indigène.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Aout 1894.

Rapport de M. Tresca sur les **outils diamantés** de M. Fromholt.

On a déjà, depuis longtemps, employé le diamant enchâssé dans des métaux pour travailler des matières dures, mais le sertissage des diamants présente une grande difficulté qui contribue à empêcher ce procédé de se répandre.

M. Fromholt a imaginé un système différant complètement des anciens procédés et qui donne d'excellents résultats. Après avoir préparé, dans un petit bloc d'acier, une encoche pour recevoir le diamant, on porte le bloc au rouge au moyen d'un fourneau à moufle de laboratoire, on introduit le diamant et on fait passer le bloc entre les cylindres d'un petit laminoir qui le déforme et le diamant se trouve parfaitement enchâssé en émergeant légèrement de l'une des faces du bloc.

Les blocs ainsi préparés servent à garnir les outils tels que scies à débiter les pierres dures, etc.

Le rapport décrit complètement le procédé dont nous venons de donner une idée et les appareils employés pour effectuer les opérations nécessaires; il donne ensuite des renseignements sur les résultats obtenus avec ces outils diamantés pour le sciage, le moulurage et le tournage des pierres dures.

Rapport de M. Tresca sur les travaux de M. Schabaver, constructeur de machines à Castres.

M. Schabaver a créé à Castres un atelier de construction dont la spécialité est la fabrication des pompes et des turbines. Le rapport cite diverses applications très remarquables faites par ce constructeur, entre autres, les machines élévatoires de Narbonne où un problème très difficile a été heureusement résolu, une turbine actionnant des laminoirs dans une usine métallurgique de Castelnaudary, une turbine agissant sous une chute de 0,12 *m* seulement et, comme contraste, des appareils analogues utilisant des chutes de 80 *m*. M. Schabaver a même fait l'étude d'une turbine devant fonctionner sous une charge de 1 000 *m*.

Nous sommes heureux d'ajouter que M. Schabaver fait, depuis 1862, partie de la Société des Ingénieurs civils.

Rapport de M. L. Appert sur **un procédé de décoration du verre,** présenté par M. Robert Engelmann.

Ce nouveau procédé d'application et de cuisson de couleurs vitrifiables a pour principe le report à la surface des objets à décorer de dessins et images obtenus par impression sur des papiers à décalque convenable-

ment préparés. Les couleurs broyées et séchées sont déposées sur la feuille de papier où ont été préalablement imprimés les dessins par les procédés lithographiques ordinaires. On fait adhérer les couleurs sur le verre en recouvrant le papier d'un enduit d'huile de lin très épaissie. En faisant tremper le tout dans l'eau, on enlève le papier qui laisse les couleurs adhérentes au verre. On cuit ensuite à une température de 450 à 600 degrés. Il y a une certaine difficulté à réaliser l'agglutination des couleurs et la fusion des émaux sans que la calcination de l'enduit gras et résineux les fasse craqueler ou bouillonner.

A cet effet, M. Robert Engelmann emploie un four spécial, chauffé au gaz et dans lequel les panneaux de verre voyagent d'une manière lente et continue, sous l'action d'un système de propulsion mécanique. Les feuilles de verre entrent froides à une extrémité du four et en sortent également froides à l'autre, après avoir été soumises, pendant la durée de leur séjour, à des températures croissantes d'abord et décroissantes ensuite.

Rapport de M. Davanne sur les **images dites anaglyphes**, présentées par M. L. Ducos du Hauron.

Ces images, dites *anaglyphes* d'un mot qui signifie bas-relief, ciselure en relief, sont ainsi disposées que, vues avec les deux yeux, elles ne semblent présenter qu'une masse confuse de lignes et de couleurs, tandis que, vues avec chacun des deux yeux séparément, elles présentent deux images distinctes. C'est une application très intelligente des procédés de la photographie stéréoscopique, des impressions photocollographiques et de la loi optique des couleurs complémentaires.

La mécanique générale américaine à l'Exposition de Chicago *(suite)*, par M. G. Richard.

Les machines à vapeur. — L'auteur rappelle d'abord que le nombre des machines à vapeur exposées à Chicago était très considérable puisqu'on ne comptait pas moins de 86 machines d'une puissance totale de 36 000 *ch*, dont 23 machines simples, 44 compound, 8 machines à triple expansion et une à quadruple. Cette répartition ne semble pas indiquer, par parenthèse, que la machine à expansion en cylindres successifs ait perdu du terrain depuis l'Exposition de 1889.

La plupart de ces machines ne présentaient d'ailleurs que peu de nouveautés par rapport à celles qui figuraient à l'Exposition de Paris. On peut cependant signaler d'une manière générale la tendance à augmenter la puissance et la rapidité de fonctionnement de ces appareils.

M. Richard décrit un certain nombre de ces machines, puis donne des détails très complets sur diverses de leurs parties essentielles telles que organes de distribution, pièces du mécanisme, régulateurs, condenseurs, pompes à air. Un très grand nombre d'illustrations remarquablement exécutées accompagnent le texte.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Septembre 1894

Recherches sur la **flexion des pièces comprimées,** par M. F. Jasinski, Ingénieur des voies de communication.

Cet important mémoire se compose de deux parties, l'une théorique, l'autre pratique. Dans la première, l'auteur, après avoir rappelé, d'une manière sommaire, les recherches antérieures qui remontent à Jean Bernoulli et à Euler, établit l'expression de la courbure en envisageant successivement un certain nombre de cas de la flexion des pièces comprimées par des efforts longitudinaux appliqués aux extrémités de leurs axes, cas différent par la situation des extrémités des pièces, lesquelles peuvent être libres ou encastrées et par d'autres conditions encore.

La partie pratique comprend l'examen et la discussion des différentes expériences faites sur la question, celles de Bauschinger, de M. Tetmayer, de M. Considère, etc. L'auteur tire de ses experiences des conclusions relativement aux valeurs de la charge dangereuse pour le fer et l'acier doux et à l'influence de l'excentricité inévitable de l'effort de compression et de petites courbures de l'axe primitif. Ce sont, en effet, des conditions dont il faut tenir compte dans la construction, et dont l'intervention négligeable pour les cas ordinaires de la pratique ne le serait pas pour une construction moins soignée.

Cette partie comprend également les applications pour lesquelles l'auteur examine successivement les cas les plus importants, savoir : les montants verticaux des poutres de ponts sans contreventement supérieur, les treillis des poutres à bandes parallèles, les parties comprimées des semelles des poutres métalliques, une poutre à bandes parallèles chargée au milieu de sa portée, une poutre à bandes parallèles soumise à l'action d'une charge uniformément répartie sur toute sa longueur, et enfin un calcul approximatif de la stabilité latérale des ponts sans contreventement supérieur.

Le mémoire est accompagné de plusieurs notes complémentaires et de tableaux graphiques et numériques.

Octobre 1894

Note sur les **glissements de terrains dans les tranchées argileuses** de la ligne de Paris à Lyon entre Brunoy et Bois-le-Roi, par M. Cartault, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Bien que la section de Paris à Montereau de la ligne de Paris à Lyon ait été ouverte en 1849, il y a donc plus de quarante-quatre ans, il s'y produit encore des mouvements de terrain dont quelques-uns ont eu une importance exceptionnelle, arrêtant la circulation et exigeant des travaux de consolidation coûteux.

La cause de ces mouvements est simple; l'exécution d'une tranchée coupe la stratification du terrain, l'eau pluviale coule sur les talus et s'infiltre entre les diverses couches et les imbibe. Cette infiltration est, en général, très lente, et il faut quelquefois de longues années avant qu'elle ait atteint une dizaine de mètres, et le talus reste en repos pendant cette période sans qu'aucun mouvement indique le danger. Mais dès que l'imbibition est complète, les tassements se produisent et amènent des crevasses par lesquelles l'eau s'introduit et il se détache de la masse un prisme de terre s'appuyant sur un plan de glissement à surface parfaitement lisse. Les secousses amenées par le passage des trains amènent le glissement *à contre-pente* de ce prisme qui finit par s'ébouler dans la tranchée.

Les moyens de consolidation à employer doivent être déterminés dans chaque cas particulier par une étude appuyée sur de nombreux sondages donnant la constitution et l'orientation des couches. Ils consistent toujours dans le captage des eaux et leur détournement du plan de glissement. Des drainages et des aqueducs suffisent toujours; tandis que l'établissement de radiers, d'éperons et de murs de soutènement, qui sont beaucoup plus coûteux, a souvent le grave inconvénient de reporter le mal plus loin en faisant refluer les eaux en amont.

Le port de Tunis, par M. Eugène Resal, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le port de Tunis comprend les ouvrages suivants : un chenal donnan accès de la mer dans le canal maritime qui traverse le lac de Tunis, chenal protégé contre la mer par une jetée-abri et un épi; un bassin de batelage à la Goulette; un canal maritime dont il vient d'être question; un bassin maritime à Tunis et les ouvrages et l'outillage nécessaires à l'exploitation du port.

Le chenal a 100 *m* de largeur et sensiblement 1 200 *m* de longueur; la jetée-abri a 513 *m* de longueur et l'épi 596 *m*. Le tirant d'eau de l'entrée est de 6,50 *m* à 7 *m* sous basses mers. Le canal maritime a la même profondeur, 30 *m* de largeur entre les pieds des talus et 8 *km* de longueur. Il présente au milieu de sa longueur un garage ou élargissement de 500 *m* sur 44 *m* de largeur pour le croisement des navires.

Il a été fait par dragages et les produits ont été déposés de chaque côté en cavaliers saillant au-dessus des eaux du lac; ces cavaliers ont leurs berges défendues par des ouvrages ou des perrés en pierres sèches. Le bassin, creusé à la même profondeur que le canal, a 400 *m* sur 600 *m* entre les pieds des talus.

Le Mémoire donne des détails très complets sur l'exécution des travaux et se termine par des statistiques et renseignements commerciaux.

ANNALES DES MINES

9e livraison de 1894.

Étude sur le **soulèvement lent actuel de la Scandinavie,** par M. A. Badoureau, Ingénieur des Mines.

Les conclusions de ce travail sont que le mouvement lent de soulèvement de la presqu'île scandinave est un fait indéniable, et que la cause de ce phénomène dont on a cherché d'ailleurs à donner plusieurs explications est bien l'échauffement qui a été la cause ou l'effet du départ des glaces. Le sol s'est réchauffé d'environ 3° depuis l'époque glaciaire et le sous-sol de la même quantité. Si la masse était absolument compacte, et ses bords absolument rigides, elle se serait relevée à son centre de 229 *m*, mais, comme ces conditions ne sont pas entièrement remplies, le soulèvement a été en général moindre, mais inégal; des parties ont dû se soulever de 200 *m*.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1891 par les Ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.

Note sur le **dosage du grisou par les limites d'inflammabilité,** par M. Lebreton, Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines de Saint-Étienne.

Le principe de ce procédé est dû à M. Shaw, Ingénieur américain, mais son application comme procédé simple et précis au dosage courant du grisou est due à M. H. Le Chatelier.

Le point de départ est que la limite inférieure d'inflammabilité d'un mélange d'air et de formène correspond à une proportion de 60 0/00 de formène et que, si le mélange contient en outre un autre gaz combustible, les deux gaz combustibles se comportent comme s'ils étaient seuls, et le mélange total atteint sa limite inférieure d'inflammabilité quand les deux gaz sont en proportions telles qu'ils forment deux mélanges exactement inflammables.

L'auteur a modifié la burette employée par M. Le Chatelier, de manière à rendre la manipulation plus rapide et plus commode. L'appareil est décrit avec des figures. Il est employé par plusieurs mines du bassin de la Loire qui s'en servent concurremment avec la lampe Chesneau qui fait les dosages à l'intérieur des travaux.

Discours prononcés aux funérailles de M. E. Mallard, membre de l'Institut, inspecteur général des mines, par MM. Daubrée, membre de l'Institut, inspecteur général des mines en retraite, Linder, inspecteur général des mines, et Michel Lévy, Ingénieur en chef des mines.

Description géologique de la région des phosphates du Dyr et du Kouf, près Tebessa, par M. Blayac, attaché aux services de la carte géologique de la France et de la carte géologique de l'Algérie.

Note sur les **lambeaux suessoniens à phosphate de chaux** de Bordj-Redir et du Djebel-Mzeita, près Bordj-bou-Arreridj (province de Constantine), par M. Blayac.

10e livraison de 1894.

Analyses des eaux minérales françaises exécutées au bureau d'essai de l'École des mines, par M. Ad. Carnot, inspecteur général des mines, professeur à l'École supérieure des mines.

Ce travail comprend l'analyse de près de deux cent sept eaux minérales classées par département. On y trouve la composition élémentaire et l'indication du poids de l'extrait sec obtenu par évaporation d'un litre de l'eau minérale suivie de la dessiccation à la température de 180°.

Ces analyses s'appliquent toutes à des eaux ayant subi l'embouteillage et le transport de la source au laboratoire. Elles sont accompagnées des indications nécessaires pour bien spécifier les sources et empêcher toute confusion entre des eaux voisines sans dénominations particulières.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

District du Nord

Visite à l'Exposition d'Anvers. — Cette visite a eu lieu les 28 et 29 juillet. Le compte rendu comprend : les mines belges, renseignements statistiques et techniques, le résumé de communications faites par notre collègue, M. Hanarte, de Mons, sur son système de ventilateur et sur les expériences faites sur cet appareil aux mines de Quaregnon. Cet ingénieur a décrit également son système de compresseur d'air à piston hydraulique et soupapes à anneaux étagés indépendants qui, à trente-cinq tours et sans autre refroidissement que la nappe comprimante, donnent une compression quasi isothermique avec 97 0/0 de rendement volumétrique. L'air est utilisé dans des réceptrices comportant des dispositions spéciales telles que soupapes de rentrée d'air permettant de prévenir le vide et de faire rentrer un peu d'eau qui s'oppose à la formation du givre. Si ces machines ont la disposition compound, le réservoir intermédiaire est constitué par un réchauffeur qui assure automatiquement, au moyen des soupapes précitées, la détente isothermique.

Des renseignements intéressants ont été donnés sur les fours à coke, système Semet-Solvay, sur la traction électrique dans les mines, sur la soudure électrique, sur la turbine à vapeur de Laval et sur la turbine Van Risselberghe.

Cette dernière est une turbine à axe horizontal sans directrices dans laquelle l'eau amenée à la pression de 50 *atm* agit par sa force vive. Les aubes sont taillées à la fraise dans un anneau en bronze emboîté sur un disque en fer monté sur un axe. Ce moteur est employé par la Com-

pagnie hydro-électrique d'Anvers qui livre l'eau au consommateur à 50 *atm* de pression au prix de 0,20 *f* ou 0,30 *f* le mètre cube pour les usages industriels et à 0,40 *f* pour l'éclairage. Un mètre cube, agissant sur une turbine du système qui vient d'être indiqué, peut aisément fournir pendant une heure le courant à 15 lampes de 16 bougies. Le coût ressort donc à 0,025 *f* environ par lampe-heure.

La canalisation qui distribue l'eau est en tuyaux d'acier et a 6 *km* de développement. La pression est déterminée par des accumulateurs chargés chacun de 140 *t*. Il y a également des dynamos centrales distribuant le courant électrique dans une canalisation de 16 *km* entièrement souterraine.

Nous citerons encore la description d'un wagon de charbonnage à fond articulé, pour le chargement et le déchargement des bateaux, exposé par la maison Nicaise et Delcuve ; des câbles de mines de la maison Harmegnies frères et Dour, d'une machine d'extraction à cylindres de 1,10 *m* × 2 *m*, construite par la Société des Produits, des générateurs multitubulaires des ateliers Charlet et Pierret, etc.

Une partie spéciale est consacrée à l'Exposition de la Société Cockerill ; on y passe successivement en revue la machine horizontale à triple expansion à distribution Frikort, de 600 *ch*, dans laquelle le petit et le moyen cylindres, placés dans le même axe, attaquent une manivelle et le grand cylindre, l'autre ; une locomotive compound à deux cylindres et quatre essieux couplés pour voie de 1 *m*, destinée à la Russie.

On trouve aussi des renseignements intéressants sur les machines à vapeur exposées par la Société du Phénix ; par Carels frères ; par Bollinck, etc., sur la machine d'exhaure d'Amercœur, construite par la Société de Marcinelle et Couillet. Cette dernière est une machine compound à réservoir intermédiaire et distribution par soupapes. Dans des essais faits en janvier et février 1893, avec une puissance de 200 *ch* indiqués, la dépense de vapeur sèche a été de 7 *kg* environ par cheval indiqué et de 9,3 *kg* par cheval utile en eau élevée.

Réunions de Saint-Étienne

Note sur l'**Explosion de la mine Albion**, le 23 juin 1894.

D'après le rapport de M. Dixon, membre de la Commission royale des explosions de poussières, la catastrophe doit être principalement attribuée aux poussières qui ont tout au moins été l'agent de propagation.

Attaque du verre par l'aluminium (Traduit de l'*Engineering and Mining Journal*).

M. Ch. Margot, préparateur à l'Université de Genève, a constaté qu'une pointe d'aluminium fait sur le verre des marques persistantes. Avec un appareil spécial on peut dessiner sur le verre. Il est possible que cette découverte vienne apporter d'importantes modifications dans la gravure sur verre.

Bassins houillers de la Russie et leur production (Traduit de *Colliery Guardian*).

Prix de revient de l'acier basique et laminage direct des petits lingots dans une mine du district de la Ruhr (Traduit du *Colliery Guardian*).

Sondage de Douvres. (Traduit du *Colliery Guardian.*)

Soutènement métallique à la mine de houille Nunnery (Angleterre). (Traduit du *Colliery Guardian.*)

Utilisation de la chaleur perdue dans les scories des fours à manche (Traduit de l'*Engineering and Mining Journal*).

A Broken-Hill (Australie) on traite du minerai de plomb argentifère, dont on retire à l'heure 2 000 *kg* de scories à une température de 1 100° environ. Ces scories sont versées dans des tubes qui traversent une chaudière à vapeur. Quand ces scories sont suffisamment refroidies, on les fait tomber dans des wagonets et on utilise encore ce qui leur reste de calorique pour chauffer l'eau d'alimentation. Ces 2 000 *kg* de scories à l'heure permettent d'obtenir de la vapeur pour une force de 60 *ch.*

Production minérale de la Grande-Bretagne (traduit du *Colliery Guardian).*

Ces renseignements sont relatifs à la production en 1892 et 1893 de la houille, des minerais, matériaux de construction, etc. La valeur totale a été, en nombre rond, de 82 millions de livres sterling en 1892 et de 70 en 1893. Il y a eu en 1892 362 hauts fourneaux en feu contre 327 seulement en 1893.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin d'Octobre 1894.

Notes sur la **mesure des températures élevées** et les pyromètres industriels, par M. Ed. Deny.

Dans beaucoup d'industries, par exemple dans l'industrie céramique, dans la fabrication de la fonte malléable, le recuit des moulages en acier, la trempe, etc., on a besoin de connaitre avec une exactitude relative les températures des fours.

On sait que de nombreuses recherches ont été faites et des essais plus nombreux encore pour arriver à mesurer les hautes températures ou, au moins, pour reconnaître si les températures voulues étaient atteintes sans être dépassées.

On peut citer parmi les principales méthodes, les alliages fusibles, les pyroscopes ou montres employés dans l'industrie céramique et enfin les pyromètres. Les conditions à remplir pour un bon pyromètre sont la facilité de l'emploi, la rapidité et la sûreté des indications.

Les principaux pyromètres sont : le thermomètre à mercure qui ne peut servir au delà de 320°; les pyromètres à air, qui sont d'une manipulation délicate; le pyromètre de Wedgwood; le pyromètre de Siemens; le pyromètre à azote et à cadran de Richard frères, le pyromètre Lamy, les pyromètres thermo-électriques, le pyromètre différentiel à circulation d'eau de M. de Saintignon enfin la lunette pyrométrique qui peut être citée parmi les meilleurs appareils industriels.

L'auteur conclut que l'industrie possède aujourd'hui dans l'appareil thermo-électrique formé par le couple Le Châtelier, le pyromètre de Saintignon et la lunette pyrométrique Mesuré et Nouel, des appareils réellement pratiques pouvant, sinon donner d'une façon précise le degré de température cherché, du moins y arriver d'une manière suffisamment approchée et permettre des observations comparables entre elles.

Sur les **matières colorantes sulfurées** dérivées du triphénylméthane, par M. Maurice Prudhomme.

Sur la **formule chimique des fuchsines acides.** Réponse à la note ci-dessus de M. Prudhomme sur les matières colorantes sulfurées dérivées du triphénylméthane, par M. A. Rosenstiehl.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS NÉERLANDAIS (1)

Livraison du 22 septembre 1894.

Description du viaduc du chemin de fer de Rotterdam par M. Michaelis.

L'auteur occupe les loisirs que lui a créés sa retraite pour décrire les grands travaux de chemins de fer qui ont été exécutés sous sa direction. Après le pont de Dordrecht, il donne le viaduc de Rotterdam avec les travaux qui en dépendent. L'étude est accompagnée de plusieurs planches donnant une idée très complète de cet important ouvrage et de tableaux indiquant les détails. Ce travail a coûté entre 8 et 9 millions de florins.

Etude sur les décharges retardées dans les sources d'électricité de grande tension relativement à la théorie des paratonnerres, par M. de Roos.

Livraison du 8 novembre 1894.

Communication de M. Grinwis Plaat sur les irrigations en Italie et en Espagne, à l'occasion d'un voyage fait par lui en vue des irrigations dans les Indes néerlandaises. L'auteur s'occupe plutôt du côté administratif que de la partie technique. Il considère : 1° le rôle du Gouvernement dans l'établissement des travaux d'irrigation, 2° l'administration, 3° la répartition des eaux et leur prix de vente, 4° les résultats économiques de l'entreprise.

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

Comme conclusion, il présente quelques observations sur les irrigations de grande étendue en cours d'exécution en ce moment dans les Indes de la part du gouvernement néerlandais.

Discussion sur le projet présenté par M. Huet pour le dessèchement du Zuyderzée.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 43. — *27 octobre 1894.*

Installations de ventilation de quelques ateliers des aciéries Fr. Krupp. à Essen-sur Ruhr, par H. Fischer.

Installation et fonctionnement des stations centrales hydrauliques desservant des appareils de levage, par P. Eilert *(fin)*.

Le degré d'admission dans les machines à vapeur au point de vue de la transmission mécanique de l'effort sur le piston, par H. Lorenz.

Machines américaines de l'industrie textile à l'Exposition de Chicago en 1893, par G. Rohn *(fin)*.

Variétés. — Pulsomètre Kestner.

N° 44. — *3 novembre 1894.*

Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'agriculture à Berlin du 6 au 12 juillet 1894, par Grundke.

Locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite)*.

Chaudières à vapeur système Herz.

Variétés. — Épreuves de résistance sur les tôles d'une vieille chaudière.

N° 45. — *10 novembre 1894.*

Production et emploi du gaz pour force motrice par A. de Boischevalier.

Nouvelles machines pour l'industrie de l'imprimerie aux États-Unis, par E. Wentscher.

Appareils de changement de voie et signaux à l'Exposition universelle de Chicago, en 1893, par H. Heimann *(suite)*.

Groupe de Franconie et du Palatinat supérieur. — Écluses et ascenseurs pour la navigation intérieure.

Correspondance. — Stations centrales hydrauliques desservant des appareils de levage.

N° 46. — *17 novembre 1894.*

Les laboratoires de mécanique, par Ad. Ernst.

Machines et pompes de la distribution d'eau de Weinberg, près Prague, par C. Badil.

Notice nécrologique sur Gustave Knop.

Groupe de la Ruhr. — Accumulateurs électriques.

Bibliographie. — Structure microscopique des métaux et alliages.

Correspondance. — Calcul graphique de l'accélération d'un piston de machine à vapeur. — Production et emploi du gaz pour la force motrice.

N° 47. — *24 novembre 1894.*

Locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite)*.

Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'agriculture à Berlin du 6 au 12 juillet 1894, par Grundke *(suite)*.

Machine à percer à six forets.

Groupe de Berlin. — Rôle de l'ingénieur dans les questions d'hygiène. — Calorimètre pour les gaz combustibles.

Variétés. — Explosions de chaudières dans l'empire allemand en 1893. — Statistique des installations électriques en Allemagne.

Correspondance. — Calcul graphique de l'accélération d'un piston de machine à vapeur. — Chaudière système Herz.

Pour la Chronique et les Comptes rendus,

A. MALLET.

Le Secrétaire Général, Rédacteur-Gérant responsable,

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 23534-11-94. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

DÉCEMBRE 1894

N° 12

9° *Étude sur diverses installations électriques en Suisse*, par M. A. Lavezzari. (Séance du 7 décembre), page 751 ;

10° *Situation financière de la Société* (Compte rendu de la), par M. H. Couriot. (Séance du 21 décembre), page 752 ;

11° *Élection des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1895.* (Séance du 21 décembre), page 759;

Mémoires contenus dans le Bulletin de Décembre 1894 :

12° *Étude sur le transport de l'énergie à grande distance par l'électricité et sur les transmissions électriques par courant continu*, par MM. G. Dumont, G. Baignères et A. Lencauchez, page 760;

13° *Sur la détermination expérimentale de la tension des tirants dans les voûtes, d'après l'Ingénieur G.-G. Ferria de Turin*, par M. D. Federman, page 878 ;

14° *Notice nécrologique sur M. P.-H. Lemonnier*, par M. A. Brüll, page 885;

15° *Notice nécrologique sur M. L.-H. Sauvan-Deleuze*, page 888 ;

16° *Notice nécrologique sur M. J. Boulet*, par M. Auguste Moreau, page 889;

17° *Chronique* n° 180, par M. A. Mallet, page 891 ;

18° *Comptes rendus* — — page 900 ;

19° *Bibliographie* — — page 906 ;

20° *Table des matières contenues dans la chronique de 1894*, page 910 ;

21° *Table des matières traitées dans le deuxième semestre du Bulletin*, page 914 ;

22° *Table alphabétique par noms d'auteurs des mémoires insérés dans les Bulletins de 1894*, page 919.

23° *Planches* n°s 125 et 126.

Pendant le mois de décembre 1894, la Société a reçu :

35029 — De MM. E. Bernard et Cie. *Revue technique de l'Exposition de Chi-*
35030 *cago en 1893. 4e Partie. La mécanique générale à l'Exposition de Chicago*, par Crépy (grand in-8° de 294 p. et atlas grand in-4° de 120 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

35031 — De M. F. Jasinski. *Recherches sur la flexion des pièces comprimées* (in-8° de 132 p. avec 1 pl.). Paris, V^e^ Ch. Dunod et P. Vicq, 1894.

35032 — De M. E. de Churruca. *Memoria que manifesta el estado y progreso de las obras de mejora de la ria de Bilbao y cuenta de ingrésos, y gastôs durante el año economico de 1893 à 1894* (in-4° de 83 p. avec 1 pl.). Bilbao, 1894.

35033 — De M. E. Asselin (M. de la S.). *Exposition universelle internationale de 1894, à Anvers. Rapports du Jury international, Groupe XIII. Classe 50 bis. Produits chimiques.* Rapport de M. Asselin (in-8° de 232 p.). Paris, A. Berthoin, 1894.

35034 — De M. N.-A. Belelubsky (M. de la S.). *Bericht über die Thätigkeit des Mechanischen Laboratoriums am Institute der Wegebau-Ingenieure Kaiser Alexander I, in St-Petersburg im Studienjahre 1892-93.* Von MM. Belelubsky und Philipp (in-4° de 11 p.). Riga, 1894.

35035 — De M. J. de Coëne (M. de la S.). *Association Normande pour prévenir les accidents du travail.* Assemblées générales des 21 avril 1893 et 16 décembre 1892 (grand in-8° de 55 p. avec 3 pl.). Rouen, siège de la Société, 1893.

35036 — De l'University of the State of New-York. *107 th. Annual Re-*
35037 *port of the Regents, 1893.* (2 vol. in-8°). Albany, 1894.

35038 — Du Ministerie van Waterstaat Handel en Nijverheid. *Cartes re-*
35039 *latives au colmatage des polders de Hollande. Sluis et Neuzen 1.* S'Gravenhage, 1894.

35040 — De M. A. Vivien (M. de la S.). *Résumé d'une Conférence de M. A. Vivien, faite au Comice agricole de Saint-Quentin, le 27 octobre 1894, sur l'Emploi du sucre en agriculture et en industrie* (in-8° de 15 p.). Saint-Quentin, Gust. Fischlin, 1894.

35041 — De la succession A. Guettier (M. de la S.). *Estampes de diverses industries au siècle dernier,* par Benard (atlas in-4°).

35042 — Dito. *Les grandes usines de France,* par Turgan. 1re et 2e séries.
35043 Paris, Librairie Nouvelle, 1860 et 1862.

35044 — Dito. *Constructions métalliques et Entreprises générales A. Moisant, Laurent, Savey et Cie,* par Turgan (grand in-8° de 83 p.). Paris. Librairie des dictionnaires.

35045 — Dito. *Mémoire sur les roues hydrauliques à aubes courbes mues par dessous,* par Poncelet (petit in-4° de 146 p. avec 2 pl.). Metz, Ve Thiel, 1827.

35046 — Dito. *Leçons de mécanique analytique données à l'École Royale*
35047 *Polytechnique.* 1re et 2e parties, par de Prony (2 vol. petit in-4°). Paris, École Royale des Ponts et Chaussées, 1815.

35048 — Dito. *Des mitrailleuses. Rapports et expériences particulièrement relatifs au mitrailleur Christophe et Montigny. Notes et Observations,* par M. Malherbe (in-8° de 64 p.). Liège, 1871.

35049 — Dito. *Mémoire sur la métallurgie du fer* (5 brochures in-8°).

35050 — Dito. *Recueil de Tables à l'usage des Ingénieurs,* par Genieys (in-8° de 270 p.). Paris, Carilian-Gœury, 1835.

35051 — Dito. *Mémoire sur les mines et la métallurgie* (15 brochures in-8°).

35052 — Dito. *Traité de cinématique, ou Théorie des mécanismes,* par Laboulaye (in-8° de 910 p. avec 822 fig.). Paris, E. Lacroix, 1861 (2 éd.).

35053 — Dito. *Cours de dessin industriel,* par Normand fils (in-8° de 192 p.) Paris, Normand fils, 1833.

35054 — Dito. *Mémoires divers* (14 brochures in-8°).

35055 — Dito. *Memoires sur la métallurgie du fer* (5 brochures in-8°).

35056 — Dito. *Fonte, fer et tôle* (2 brochures in-8°).

35057 — Dito. *Cours complet de mathématiques.* Tomes 1 et 2, par A. Blum
35058 (2 vol. in-8°). Paris, Carilian-Gœury, 1844.

35059 — Dito. *Du fer coulé*, par Tredgold et Duverne (in-8° de 382 p. avec 3 pl.).

35060 — Dito. *Mémoire sur l'art de dorer le bronze*, par d'Arcet (in-8° de 172 p. avec 6 pl.). Paris, Ve Agasse, 1818.

35061 — Dito. *Manuel de la métallurgie du fer*, par Karsten. Tomes 1, 2
à 35063 et 3 (3 vol. in-8°). Metz, Mme Thiel, 1830. 2 éd.

35064 — Dito. *Recueil officiel des Ordonnances et Instructions publiées sur*
35065 *la fabrication et la vérification des poids et mesures* (in-8° de 256 p. avec atlas in-4° carré de 14 pl.). Paris, Paul Dupont, 1839.

35066 — Dito. *Manuel de géométrie, de dessin linéaire, d'arpentage et de ni-*
35067 *vellement*, par Normand aîné (in-8° de 196 p. avec atlas de 24 pl.). Paris, Normand aîné, 1841.

35068 — Dito. *Manuel pratique d'analyse chimique appliquée à l'industrie du fer*, par L. de Koninck et Ed. Dietz (petit in-8° de 151 p.). Paris. Baudry, 1871.

35069 — Dito. *Guide pratique du constructeur. Maçonnerie*, par Demanet
35070 (in-12 de 252 p. avec atlas même format de 20 pl.). Paris, E. Lacroix, 1864.

35071 — Dito. *L'Ouvrier mécanicien. Guide de mécanique pratique*, par Armengaud jeune (in-12 de 348 p. avec 4 pl.). Paris, Armengaud jeune, 1881.

35072 — Dito. *Guide pratique du métallurgiste. Le fer*, par W. Fairbairn (in-12 de 331 p. avec 25 fig.). Paris, E. Lacroix, 1864.

35073 — Dito. *De la construction des engrenages*, par Haindl (in-12 de 103 p. avec 9 pl.). Paris, Mathias, 1840.

35074 — Dito. *507 mouvements mécaniques*, par H. Brown (in-12 de 122 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1880.

35075 — Dito. *Instruction sur la machine à fileter, sur la machine à aléser et sur la machine à diviser et à tailler*, par Plaisant (3 vol. in-12). Angers, Launay-Gagnot, 1843-1841.

35076 — Dito. *Tarifs du poids des fers carrés et méplats*, par Belargent (in-12 de 450 p.). Paris, Carilian-Gœury, 1838.

35077 — Dito. *Calculs faits. Tarifs* (1 vol. in-12).

35078 — Dito. *Le fer, la fonte, l'acier* (in-32 de 188 p.). Paris, Hachette et Cie, 1881.

35079 — Dito. *Le cuivre et le bronze*, par Delon (in-8° de 188 p.). Paris, Hachette et Cie, 1881.

35080 — Dito. *L'Ingénieur Civil*, par Roret (2 vol. in-32 avec atlas
à 35082 de 28 pl.).

35083 — Dito. *Tables de logarithmes*, par d'Aubuisson (in-32 de 364 p.). Paris, Carilian-Gœury, 1842.

35084 — Dito. *Album des modèles en fonte de fer* exécutés par J.-J. Duval fils (atlas de 246 pl.).

35085 — De MM. L. Appert et J. Henrivaux (M. de la S.). *Verre et verrerie* (atlas grand in-4° de 14 pl.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

35086 — De M. N.-J. Raffard (M. de la S.). *Nouvelles expériences et observations sur le fer*, par du Coudray (in-8° de 148 p.). Paris, Ruault, 1775.

35087 à 35089 — De l'United States Geological Surrey. *Monographs*, vol. XIX, XXI et XXII. Washington, 1892-1893.

35090 et 35091 — Dito. *Mineral Resources of the United States years 1892 and 1893.* Washington 1892-1893.

35092 à 35096 — Dito. *Annual Report of the United States Geological Survey of the Secretary of the Interior. 1890-91, 1891-92.* Washington, 1891 à 1893.

35097 à 35107 — De M. J. de Coëne (M. de la S.). *Bulletin de l'Association normande pour prévenir les accidents de fabrique, fondée en 1879.* Années 1881 à 1894. N°s 1 à 15. Rouen, L. Deshays.

35108 — De MM. E. Bernard et Cie. *La Traction mécanique des tramways*, par E. de Marchena. Supplément (in-8° de 42 p.). Pàris, E. Bernard et Cie, 1895.

35109 — De M. A. de Dax (M. de la S.). *The White City. Chicago, 1893* (atlas grand in-4° italien de 80 pl.). Chicago, 1894.

35110 — De M. Ed. Royer, éditeur. *Résumé méthodique et pratique d'installations électriques*, par Firmin Leclerc (in-18 de 251 p.). Paris, E. Royer, 1894.

35111 — De M. L. Pagèze. *La ruine de Paris par le Métropolitain* (in-8° de 32 p.). Paris, Librairie socialiste, 1894.

35112 — De M. H. Chapman (M. de la S.). *Illustrations of Iron and Steel Structures* recently made and erected by Andrew Handyside and C°. Managing Director: A. Buchanan (atlas in-12 italien de 22 pl.). Derby, 1894.

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de décembre 1894 sont :

Comme Membres sociétaires, MM. :

P.-F.-A. Crozet, présenté par MM. Braun, Collet, Ch. Comte.
L.-E.-F. David, — Liébaut, Richemond, Weyher.
L. Paraf, — Carimantrand, Lévi, Mallet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE DÉCEMBRE 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1894

PRÉSIDENCE DE M. G. DU BOUSQUET, PRÉSIDENT

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès de trois de nos collègues :

M. Louis Debarle, ancien Élève de l'École Centrale, entrepreneur de travaux publics, membre de la Société depuis 1865;

M. Sébastien Calabre, Ingénieur Civil, membre de la Société depuis 1864;

M. Jean Boulet, membre du Comité de la Société. M. J. Boulet était fils d'un maître mécanicien, de la fonderie de canons de Ruelle (Charente); entré à l'École d'Angers en 1851, il en sortit le premier en 1854.

A sa sortie de l'École, il entra comme dessinateur à la maison Cail, où il travailla pendant quelques années tant à Lille qu'à Paris et plus tard chez MM. Artige et Beaufumé. En 1865, il entrait à la maison Hermann-Lachapelle comme Ingénieur-chef du bureau de dessin et conserva cet emploi jusqu'en 1870. Pendant la guerre, il prend la direction complète des ateliers Hermann-Lachapelle, et il crée pendant le siège un outillage spécial pour la fabrication des canons : la bonne exécution de ces canons valut à la maison Hermann-Lachapelle les félicitations les plus chaleureuses de la part du Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.

En 1879, M. Boulet succède à M. Hermann-Lachapelle comme gérant d'une Société en commandite par actions et reste à la tête de cette Société jusqu'à sa mort. Homme de progrès s'il en fut, il transforme complètement la maison qu'il dirige, entreprend la construction de puissantes machines à vapeur, des machines spéciales pour l'éclairage électrique, des excavateurs, grues et appareils de levage, etc., et c'est en pleine prospérité de sa maison que la mort vient de le surprendre.

M. Boulet, caractère droit, de relations sûres, était tenu en haute estime dans le monde des Ingénieurs et des mécaniciens où il était particulièrement connu; il était chevalier de la Légion d'honneur, membre du Comité de la Société des Ingénieurs Civils de France, vice-président de la Chambre des constructeurs de machines et instruments d'agriculture, membre de la Société des entrepreneurs de travaux publics, etc.

Plusieurs discours ont été prononcés sur sa tombe, par MM. G. Ossude, au nom de la grande Chancellerie de la Légion d'honneur; Ed. Bourdon, Ingénieur, au nom de la Chambre syndicale des mécaniciens; Imbert, ancien député de la Loire, au nom de la Société des anciens élèves des Ecoles des Arts et Métiers; Auguste Moreau, membre du Comité de la Société des Ingénieurs Civils de France, au nom de cette Société; Fauger, fondé de pouvoirs de la maison J. Boulet, au nom de tout le personnel de la maison, ouvriers et employés; Rambaud de La Rocque, avocat au conseil d'État, Président de la Société amicale des Charentais, au nom de cette Société.

M. le Président remercie M. Aug. Moreau des paroles pleines de cœur qu'il a prononcées au nom de la Société sur la tombe de notre regretté Collègue.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que :

M. Auguste Moreau a été nommé officier de l'Instruction publique;

M. Gustave Richard a été nommé Agent Général de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale;

M. de Naeyer a été nommé commandeur de l'ordre de Léopold;

M. Raph. Hant. Tweddell a reçu de l'Institut Frankin de Philadelphie la médaille et le prix John Scott, comme récompense des services qu'il a rendus à l'industrie par l'application de l'eau sous pression au fonctionnement du gros outillage mécanique et principalement des machines à river.

M. le Président signale plus spécialement, parmi les nombreux ouvrages reçus, une série de volumes et documents relatifs à la métallurgie et donnés à la Société par les héritiers de notre regretté collègue, M. Guettier; plusieurs volumes des *Rapports*, *Monographies* et *Bulletins du service géologique des États-Unis;* la collection, depuis l'origine, des *Bulletins de l'Association normande pour prévenir les accidents de fabrique*, remise par M. de Coëne, correspondant de la Société à Rouen. Enfin, un album de quatre-vingts *Phototypies sur l'Exposition de Chicago*, dont l'exécution est remarquable, donné par M. de Dax.

M. le Président a le plaisir d'annoncer à la Société que, par arrêté de M. le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, le Président de la Société des Ingénieurs Civils de France a été nommé membre du jury appelé à statuer sur les résultats du concours ouvert pour l'Exposition universelle de 1900. Le nombre des membres du jury désignés par le ministre n'est que de dix. M. le Président pense que la Société sera d'accord avec lui pour adresser tous ses remerciments à M. Delaunay-Belleville, Directeur général de l'Exploitation de l'Exposition de 1900, qui, en sa qualité de membre de

notre comité, a appelé plus spécialement l'attention du Gouvernement sur le choix à faire. *(Assentiment.)*

M. LE PRÉSIDENT a reçu de Russie le télégramme suivant :

Saint-Pétersbourg.

« Sa Majesté l'Empereur a daigné me charger d'exprimer aux Ingénieurs Civils de France sa sincère reconnaissance pour les sentiments de sympathie à sa grande douleur et pour la part affectueuse qu'ils prennent au deuil profond de la Russie.

» KRIVOCHINE,

» *Ministre des voies de communication.* »

Il a reçu également la lettre qui suit :

« Monsieur du Bousquet, Président de la Société des Ingénieurs Civils de France,

» Au nom de tous les membres de l'Institut des voies de communication et, entre autres, de notre collègue commun, le professeur Belelubsky, je viens vous témoigner notre profonde gratitude pour les paroles de sympathie que vous venez de m'adresser à propos de l'événement douloureux qui plonge nos deux chères Patries dans un deuil commun.

» Nous restons dans la certitude que le futur prochain ne changera rien aux sympathies réciproques et aux relations amicales qui lient nos deux pays pour leur bonheur commun.

» Veuillez agréer, monsieur le Président et cher collègue, l'expression de nos sentiments les plus dévoués.

» M. GHERCÉVANOF,

» *Directeur de l'Institut.* »

M. LE PRÉSIDENT fait connaître qu'en vertu de l'article transitoire, ajouté à l'article 20 des statuts, il a été procédé, dans la séance du Comité du 7 décembre, à un tirage au sort pour désigner l'ordre dans lequel les Vice-Présidents, Secrétaires et Membres élus du Comité deviendront inéligibles pendant un an.

Les résultats du tirage ont été les suivants :

Membres non rééligibles aux élections de décembre :

En 1894 pour 1895.	En 1895 pour 1896.	En 1896 pour 1897.	En 1897 pour 1898.
Vice-Président :	*Vice-Président :*	*Vice-Président :*	*Vice-Président :*
M. LIPPMANN.	M. CHARTON.	M. FLEURY.	M. APPERT.
Secrétaire :	*Secrétaire :*	*Secrétaire :*	*Secrétaire :*
M. LAVEZZARI.	M. JANNETTAZ.	M. GASSAUD.	M. BERT.
Membres du Comité :	*Membres du Comité :*	*Membres du Comité :*	*Membres du Comité :*
MM.	MM.	MM.	MM.
POURCEL.	RÉMAURY.	MORANDIERE.	FOREST.
DE NANSOUTY.	COISEAU.	B. DE FONTVIOLANT.	RICHEMONT.
COIGNET.	LENCAUCHEZ.	REY.	CARIMANTRAND.
RICHARD.	GRUNER.	DUMONT.	DELAUNAY-BELLEVILLE.
CHALON.	MOREAU.	MALLET.	BADOIS.
PILLET.	BOULET.	PARENT.	CANET.

M. LE PRÉSIDENT fait donner lecture d'une note envoyée par M. Pourcel.

M. POURCEL, comme suite à l'analyse, présentée par M. Rémaury, du livre aide-mémoire sur *la fonte*, de M. de Billy, ne croit pas dénuée d'intérêt la communication de quelques chiffres authentiques sur le roulement d'un haut fourneau américain marchant au charbon de bois.

Ces chiffres qui ont été fournis par M. Duncan, le manager de la « Antrin Iron C° », de Mancelona (Michigan), lui ont été remis par l'obligeant intermédiaire de M. John Birbinkine, ancien président de l'Institut américain des Ingénieurs des Mines. M. de Billy mentionne avec beaucoup de détails les conditions de marche à allure forcée des hauts fourneaux américains, et cite, en particulier, la forte production atteignant quelquefois 100 *t* par vingt-quatre heures, de ceux qui consomment exclusivement, comme combustible, le charbon de bois. Mais ce fort tonnage pour la fonte au bois, n'a été que l'exception; des renseignements statistiques, de provenance sûre, donnent comme un maximum une production de 80 *t*, et c'est là un beau résultat. M. Duncan, dont l'opinion en cette matière a une réelle valeur, certifie que, au point de vue de la consommation du charbon, il y a économie à forcer la production; et, cependant, à son haut fourneau de Mancelona, il ne produit actuellement pas au delà de 77 *t* à 80 *t* par vingt-quatre heures.

Voici les chiffres relatifs au roulement pendant les vingt-huit jours du mois de février dernier, de ce haut fourneau dont les dimensions sont les suivantes :

Hauteur.	15,00 *m*
Diamètre au ventre.	3,05 *m*
Diamètre au creuset	1,80 *m*

Le vent, à une température de 800° Fahrenheit, est soufflé à raison de 208 m^3 par minute (pris à la température normale) par six tuyères de 0,115 *m* de diamètre. Le rendement en fer du lit de fusion dans la période envisagée a été de 54,72 0/0.

La production totale, pour les vingt-huit jours du mois de février, s'est élevée à 2 058 *t* métriques de fonte variant du gris clair au noir; un tiers environ était de la fonte graphiteuse. C'est donc en moyenne un rendement de 73,800 *t* par vingt-quatre heures, avec une consommation pour 1 000 *kg* de fonte, de 124 *kg* de castine, et de 856 *kg* de charbon de bois.

Le charbon consommé provient en majorité de bois d'érable. On le consomme en mélange avec une faible proportion de charbon de bois de hêtre.

Les teneurs en cendres et phosphore sont respectivement :

	Hêtre.	Erable.
Phosphore.	0,030	0,043
Cendres.	1,230	1,150

En Styrie, dans la vallée de Vordenberg, avec du charbon de moindre qualité, la consommation de combustible est inférieure et varie de 650 à 700 *kg*. Et si, d'une part, la fonte produite est blanche, légèrement

manganésée, d'autre part, le lit de fusion est moins riche en fer qu'à Mancelona.

La castine employée comme fondant est de deux espèces, l'une grise, dolomitique, l'autre bleue. Elles ont les compositions suivantes :

	Grise.	Bleue.
Silice	0,420	0,820
Alumine et fer	1,280	0,420
Chaux	34,800	51,800
Magnésie	17,590	3.030

Quatre sortes de minerais entrent dans le dosage dans les proportions suivantes :

25	0/0	Minerai du Lac	(N° 1)
36 1/2	0/0	Minerai de Saliebury	(N° 2)
25	0/0	Minerai de Foster	(N° 3)
13 1/2	0/0	Minerai menu	(N° 4)

La composition chimique de ces minerais dénote une espèce moins réductible que ne le sont les minerais styriens de l'Erzberg, spathiques ou d'origine spathique.

Analyse des minerais fondus à Mancelona (Michigan).

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
Fer	60,00	62,28	52,50	60,00
Silice	6,28	4,70	15,25	7,46
Alumine	2,16	1,31	2,27	2,36
Chaux	0.60	0,30	0,35	0,94
Magnésie	0,38	0,43	»	0,91
Phosphore	0,11	0,112	0,13	0,142
Manganèse	0,90	0,35	0,68	0,184
Soufre	0,009	0,017	traces	0,04
Eau	13,46	13,35	6,65	1,51

M. Pourcel insiste sur ce point que les documents qu'il vient d'avoir l'honneur de présenter se rapportent à un haut fourneau qui est considéré — en Amérique — comme tenant le *record* de la production de la fonte au bois. Son rendement par mètre cube de vide atteint presque une tonne de fonte par 24 *h*.

Quant à l'allure forcée des hauts fourneaux consommant le coke, comme combustible, quelque avantage que l'on prétende en retirer dans les centres industriels des États-Unis qui l'ont appliquée, M. Pourcel ne croit pas qu'elle doive être servilement imitée sur le continent européen. L'essai, appliqué aux minerais de Bilbao, qu'on a fait en Angleterre — à l'Usine de Jarrow, sur la Tyne — n'a pas été heureux.

Cependant, les deux points essentiels qui doivent en être retenus, et sur lesquels l'attention des maîtres de Forges de l'Est, du Luxembourg et de l'Allemagne s'est déjà particulièrement arrêtée, ressortent des avantages de régularité d'allure, pour les grandes productions, obtenus avec une installation comportant pour chaque haut fourneau sa soufflerie

isolée et de nombreux appareils à air chaud du système Cowper, munis d'une cheminée de grandes dimensions, de 70 *m* de hauteur, avec une ouverture de 2,50 *m* à 3 *m* de diamètre au sommet.

A chaque haut fourneau il faut donner sa soufflerie particulière, et ses appareils à air chaud isolés.

Sur ces principes, la Société des Hauts Fourneaux Luxembourgeois a établi à Esch, sous la direction de M. Krohl, un haut fourneau de 25 *m* de hauteur; 7 *m* de diamètre au ventre; 4,75 *m* de diamètre au gueulard et 3 *m* de diamètre au creuset, soit 600 m^3 de volume utile, qui, dans les premiers mois de cette année, a produit en moyenne, par 24 *h*, 150 *t* de fonte de marque OM (basique pour fours Martin).

On a eu des productions journalières de 175 *t*.

Le vent, qui est chauffé par six appareils Cowper de 25 *m* de hauteur, dont deux fonctionnent au vent pendant que les quatre autres sont en chauffage, est distribué au fourneau par six tuyères de 18 *cm* de diamètre à une température supérieure à 800° C et qui ne varie que de quelques degrés dans l'intervalle des changements d'appareil, une heure environ. La pression est de 22 à 24 *cm* de mercure.

Si l'on note qu'une production moyenne de 150 *t*, s'élevant parfois à 175 *t*, est ici obtenue avec un lit de fusion rendant 31,50 0/0 de fer, au lieu de 58 à 60 0/0 en Amérique, avec une consommation de coke, à 12 0/0 de cendres, de 1 025 *kg* — justifiée par la quantité de laitier 1 1/2 *t* qui accompagne chaque tonne de fonte, on en conclura, comme l'a fait M. Remaury, qu'on ne peut *guère espérer mieux*.

M. G. Dumont dépose une *Note complémentaire* de sa communication précédente.

M. le Président l'en remercie; cette note sera ajoutée dans le *Bulletin* à la suite du mémoire de M. G. Dumont.

M. de Chasseloup-Laubat fait l'*Analyse du Rapport officiel sur les Congrès de Chicago* qu'il a été chargé de rédiger comme commissaire du Gouvernement. Il traite plus spécialement du *Congrès du Génie maritime*.

M. le Président remercie M. de Chasseloup-Laubat d'avoir donné à la Société la primeur de son intéressant rapport (1).

M. L. Périssé présente le *Compte rendu des congrès d'Ingénieurs à Chicago*.

M. le Président remercie M. L. Périssé de son analyse qui rendra certainement de grands services aux Membres de la Société en leur faisant connaître les sujets et les points principaux des travaux divers présentés au Congrès de Chicago (1).

M. Lavezzari expose une *Étude sur diverses installations électriques en Suisse*.

M. le Président remercie M. Lavezzari qui a su, avec sa communication et les projections qui l'accompagnent, faire faire aux Membres de la Société une promenade en Suisse aussi agréable qu'intéressante (1).

(1) Par suite du peu de temps disponible pour faire paraître le Procès-Verbal entre les séances des 7 et 14 décembre, il n'a pas été possible de faire le résumé de ces trois communications. Il en sera rendu compte ultérieurement dans le *Bulletin*.

Il est donné lecture en première présentation des demandes de MM. P. Bloch, A.-J. da Costa-Canto, L. Lumereaux, J.-H. Nyveneuse (Nieuwenhuyzen), P. Smith, comme Membres sociétaires, et de

M. Ch. Lorilleux, comme Membre associé.

MM. P.-F.-A. Crozet, L.-D. David et L. Paraf sont reçus Membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1894.

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. H. Couriot, Trésorier, a la parole pour faire, conformément à l'article 16 des Statuts, l'exposé de la situation financière de la Société (1).

SITUATION FINANCIÈRE AU 30 NOVEMBRE 1894

Nombre des Sociétaires.

Le nombre des Sociétaires était au 1er décembre 1893, de. . .	2 482
Du 1er décembre 1893 au 30 novembre 1894, le nombre des admissions a été de 123	123
formant un total de	2 605
dont il faut déduire par suite de décès et démissions.	49
Le total des membres de la Société au 30 novembre 1894 est ainsi de	2 556

Situation de la caisse au 30 novembre 1894.

Le tableau des recettes et dépenses, annexé au compte rendu financier, peut se résumer de la manière suivante :

Le solde en caisse, au 1er décembre 1893, était de. .	Fr.	25 324,68
A reporter.	Fr.	25 324,68

(1) Voir pages 298 et suivantes, le compte *Recettes* et *Dépenses* et le *Bilan*, ainsi que l'*état comparatif* des exercices 1887 à 1894.

Report . . Fr.			25 324,68

Les recettes effectuées du 1er décembre 1893 au 30 novembre 1894 se répartissent ainsi :

RECETTES

1° Pour le fonds courant :

Cotisations . . . . Fr.	77 846 »		
Droits d'admission	2 925 »		
Intérêts des valeurs de portefeuille.	6 391,80		
Vente de Bulletins et Mémoires; Abonnements et Annonces. . .	8 384,60		
Location des salles de séance. .	6 920 »		
Recettes diverses.	1 746,25		
		104 213,65	

2° Pour le fonds inaliénable :

Exonérations : MM. Henri, Lafrance, Laville, Giraud. . Fr.	2 400 »		
Dons volontaires : MM. Bertrand de Fontviolant et Van Diest. .	418,45		
		2 818,45	
Le total des encaissements s'élève ainsi à Fr.			107 032,10
et le montant des recettes effectuées au 30 novembre, grossi de l'encaisse au 1er décembre 1893, monte à. Fr.			132 356,78

DÉPENSES

Par le fonds courant :

Impressions, planches et croquis . . . . Fr.	36 412,90		
Affranchissements et divers. . .	8 343,74		
Appointements, travaux supplémentaires et chronique. . . .	19 070,25		
Frais de bureau, de sténographie et de séances.	3 233,71		
Prêts et secours	2 099 »		
Prix Annuel et Nozo	1 220 »		
Contributions, entretien de l'immeuble, assurances, frais de la cité, chauffage, éclairage, téléphone, etc.	8 904,87		
Classement de la bibliothèque, achats de livres, reliure, etc. .	2 867,80		
Pension de Mme Ve Husquin de Rhéville.	3 000 »		
A reporter. . . . Fr.	85 152,27		132 356,78

Reports . . Fr.	85 152,27	132 356,78
Remboursement de bons de l'emprunt.	650 »	
Paiement des coupons échus . .	48 »	
Frais exceptionnels, participations aux Congrès, souscriptions, etc.	3 434,85	
Souscription au monument Flachat	5 000 »	
Frais de recouvrement des cotisations	1 010,62	
Exposition de la Société à Anvers	1 740 »	
Legs Fusco	775 »	
Total des sommes employées au 30 novembre 1894.		97 810,74
Le solde en caisse, à la date du 30 novembre 1894, est donc de. Fr.		34 546,04

Nous joignons à ce Rapport le Bilan de la Société dressé dans la forme habituelle; il est arrêté à la date du 30 novembre et se résume comme suit :

A l'actif sont portés :

L'Hôtel de la Société, pour . . . . Fr.	279 602,20
Notre portefeuille représenté par 426 obligations du Midi, deux titres de 235 f de rente 3 0/0 et 15 obligations de la Compagnie Madrilène du gaz figurant ensemble pour le prix de	178 022,06
Les espèces en caisse	34 546,04
La bibliothèque	8 404,65
Nos débiteurs (cotisations arriérées au 30 novembre 1894, après réduction de 50 0/0 environ) et divers.	14 804 »
Total . . . . Fr.	515 378,95

Au passif figurent :

Nos créanciers (pour impressions, planches, reliure, travaux en cours, etc.). . . . . Fr.	6 860,11
Les prix divers (échus ou en cours) s'élevant à.	6 360,60
Le compte « Fonds de secours » (mémoire).	»

L'avoir social comprenant :

Le montant des dons et exonérations restant à consolider. . . . . Fr.	7 869,21	502 158,24
Le complément du capital social s'élevant à.	494 289,03	
Chiffre égal . . . . Fr.		515 378,95

L'Avoir de la Société, à ce jour, s'élève ainsi à. . . Fr.	502 158,24
alors qu'il était le 1er décembre 1893, de	486 883,33
il a, par suite, augmenté, durant l'exercice, de. . . Fr.	15 274,91

Cette augmentation de 15 274,91 *f* de notre avoir social a pu être obtenue malgré quelques dépenses exceptionnelles de l'exercice, telles que celles entrainées par la participation de notre Société à l'Exposition d'Anvers, et par sa souscription de 5.000 *f* au monument qu'elle se propose d'ériger en l'honneur de celui qu'elle considère, à bon droit, comme le véritable fondateur de la profession d'Ingénieur Civil, à Eugène Flachat, qu'elle a placé sept fois à sa tête en l'appelant à présider pendant sept années à ses travaux.

La dotation de notre modeste fonds de secours a été absorbée et au delà par les besoins de l'exercice. Nous avons fréquemment le grand regret de ne pouvoir soulager, dans la mesure où nous voudrions le faire, les infortunes très intéressantes qui nous sont signalées; aussi serions-nous heureux de voir se grossir notre fonds de secours, pour nous permettre de venir en aide à ceux, toujours méritants, qui demandent assistance à notre Société.

Du côté des recettes vous remarquerez encore une diminution dans le chiffre des locations des salles de séance, qu'il ne dépend que du concours d'un grand nombre de nos collègues de relever, et je fais appel à leur dévouement pour cet objet.

En résumé, Messieurs, notre avoir est passé de 486 883,33 *f* à 502 158,24 *f*; il dépasse le demi-million que je formais le vœu de pouvoir saluer cette année; formulons donc ici un autre vœu, celui de voir arriver l'autre moitié du million sans l'attendre, comme la première, pendant quarante-six ans!

Les bons résultats que je vous ai signalés ont été obtenus avec le concours actif et dévoué de notre Secrétaire Général, M. de Dax, et je suis heureux de rendre ici hommage aux efforts constants, à l'intelligence et aux soins attentifs qu'il apporte à ne rien négliger de tout ce qui peut servir utilement les intérêts de notre Société.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes qui viennent d'être présentés.

Ces comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. le Président demande à l'assemblée de voter des remerciements à son Trésorier, M. H. Couriot, pour le soin et le très grand dévouement qu'il apporte à ses fonctions.

Ces remerciements sont votés par *acclamation.*

ÉTUDE

SUR LE

TRANSPORT DE L'ENERGIE A GRANDE DISTANCE PAR L'ÉLECTRICITÉ

ET SUR LES

TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES PAR COURANT CONTINU

SOMMAIRE

III. — Exemples de transports et de transmissions électriques.

IV. — Production de la force motrice à la station génératrice.

ÉTUDE

SUR LE

TRANSPORT DE L'ÉNERGIE A GRANDE DISTANCE

PAR L'ÉLECTRICITÉ

ET SUR LES

TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES PAR COURANT CONTINU

PAR

MM. G. DUMONT, G. BAIGNÈRES & A. LENCAUCHEZ

Exposé de la question. Division de l'étude.

Le transport de l'énergie est un des problèmes les plus importants de la mécanique appliquée, puisqu'une force développée par un moteur quelconque, à vapeur ou hydraulique, ne devient utile que lorsqu'elle a été amenée au lieu où elle doit être employée. Mais le problème se pose différemment, selon que la force à transmettre est à petite ou à grande distance des machines ou outils qui doivent l'absorber.

Dans le premier cas, la transmission doit être conçue plutôt en vue d'une division convenable de l'énergie qu'au point de vue du rendement, qui est toujours élevé lorsque les organes de transmission ont été convenablement étudiés.

Dans le deuxième cas, le problème est beaucoup plus compliqué, la question du rendement devant être combinée avec une dépense modérée d'établissement, ce dernier élément ayant une importance prépondérante.

Il parait donc rationnel de considérer deux espèces de transmissions de l'énergie; dans l'une, la distance se calcule en mètres et on se propose de subdiviser la puissance, de l'appliquer, en petites quantités, à des points différents pour produire des travaux spéciaux; dans l'autre, au contraire, la distance se calcule en kilomètres et l'énergie se transporte pour ainsi dire en bloc.

Dans les deux cas, l'électricité permet de résoudre des problèmes qui seraient insolubles avec les systèmes de transmission

purement mécaniques, d'utiliser des forces qui seraient perdues si on ne pouvait les transporter à grandes distances et donne, dans bien des cas, le moyen commode et souvent avantageux de conduire certains outils spéciaux.

C'est ce qui explique pourquoi cette question du transport et de la transmission de l'énergie par l'électricité a attiré l'attention des Ingénieurs et a donné lieu à tant de travaux depuis l'année 1873, époque à laquelle on a entrevu la possibilité de la mettre en pratique en utilisant la précieuse qualité des machines électriques, « la *réversibilité* ».

Mais le principe étant connu, il y avait de nombreuses études à faire pour l'appliquer; aussi n'est-il pas étonnant que l'on ait mis vingt ans à essayer les divers systèmes de dynamos, à perfectionner leurs organes et à déterminer, en un mot, les éléments d'une question fort complexe, alors que le principe en paraît si simple. On est aujourd'hui en possession de plusieurs systèmes de transport et de transmissions électriques dont tous n'ont certainement pas dit leur dernier mot, mais qui sont assez perfectionnés pour donner lieu à des applications industrielles; aussi avons-nous pensé que la Société des Ingénieurs civils, dont tous les membres sans exception peuvent être amenés à utiliser ces modes de transport ou de transmission, auraient intérêt à les connaître et à savoir ce qu'ils peuvent en attendre au point de vue essentiellement pratique.

Notre travail se divisera donc en quatre parties :

I. Transport de l'énergie à grande distance;

II. Transmission de l'énergie à petite distance et dans les ateliers;

III. Exemples de transport et de transmissions électriques;

IV. Production de la force motrice à la station génératrice.

I. — TRANSPORT DE L'ÉNERGIE A GRANDE DISTANCE

Importance de la question au point de vue industriel.

Avant l'invention de la machine Gramme, le seul moyen pratique que l'on possédât pour utiliser à distance une force que l'on ne pouvait songer à déplacer, comme celle d'une chute d'eau, par exemple, consistait dans l'emploi des càbles télédynamiques.

Dans les pays, en Suisse notamment, où l'on avait l'occasion d'établir souvent ce mode de transmission, on avait tiré tout le parti possible du système. Or, bien que les transmissions télédynamiques fussent employées parce que l'on n'avait pas mieux, on leur reconnaissait des inconvénients tenant au faible rendement dû aux frottements, à la limitation de la force transmise, à l'usure rapide des cordes, à la nécessité de créer des supports très lourds et très onéreux aux stations, enfin aux tensions excessives à certains moments et aux glissements à d'autres moments occasionnés par l'état atmosphérique.

Des expériences faites il y a quelques années, en Amérique, pour le cas d'une transmission de 100 *ch* à 300 *m* seulement, ont démontré que les pertes par frottements atteignaient 25 0/0 et que le rendement d'une transmission par câble, à cette faible distance, ne dépassait pas 40 0/0 et descendait quelquefois à 15 0/0.

D'autre part, en 1890, au moment où l'on étudiait le moyen d'utiliser les chutes du Niagara, une Commission technique fut chargée d'examiner attentivement un grand nombre d'installations de câbles télédynamiques existant en Europe et elle reconnut que l'on ne pouvait transmettre par une corde simple plus de 330 *ch*; que si la force à transmettre dépassait ce chiffre, il fallait disposer de transmissions plus compliquées et par suite très coûteuses.

La comparaison suivante, faite par M. Stillwell (1), met en relief les puissances de transmission respectives des organes actuellement employés dans l'industrie : un câble en acier servant à la traction des tramways, ayant un diamètre de 38 *mm* et une vitesse de translation d'environ 32 *km* par heure, peut transporter au maximum une puissance de 2 000 *ch*, tandis qu'un conducteur électrique de même section peut, au potentiel de 10 000 volts et

(1) *L'Industrie électrique*, n° 65, 10 septembre 1894.

avec une densité de courant de 155 ampères par centimètre carré, transmettre une puissance de 13 000 *ch*, soit six fois plus que le câble en acier. Des courroies de 1,8 *m* de largeur transmettent 1 000 *ch* avec une vitesse de translation de 96 *km* par heure. Un conducteur en cuivre de 6,45 cm^2 de section, équivaut, au potentiel de 10000 volts, à une courroie six fois plus large, c'est-à-dire à une courroie de 13 *m* de largeur. Avec les vitesses de courroies usitées en France, il faudrait une courroie d'au moins 20 *m* de largeur pour transmettre la même puissance que le conducteur en cuivre.

Il résulte de là que du jour où les transports d'énergie par l'électricité furent devenus pratiques, ce moyen de transmission sembla préférable à tout autre et l'on ne saurait en donner une preuve plus frappante qu'en rappelant qu'il y a quelques années, les directeurs de la filature de Schaffhouse, ayant à transporter une force hydraulique de 600 *ch* à 1 500 *m* de distance, n'hésitèrent pas à employer l'électricité, là où les transmissions à cordes étaient autrefois en honneur et avaient reçu le développement le plus parfait.

Les constructeurs chargés de cette installation (les ateliers d'Œrlikon) avaient garanti, avec l'électricité, un rendement de 78 0/0 à pleine charge ordinaire, la possibilité de transmettre un excès de 20 0/0 au-dessus de la puissance normale pendant une heure et demie sans endommager les machines, et enfin une variation de vitesse des moteurs à vide et à pleine charge ne devant pas excéder 3 0/0. Enfin, le prix total de la partie électrique de l'installation revenait à 170 000 *f*, soit 340 *f* par cheval-vapeur fourni.

En réalité, on a obtenu au lieu d'utilisation 500 *ch*, ce qui correspond à un rendement industriel de 83 0/0.

Si l'on considère les résultats acquis, on n'est pas surpris que la question des transports de la force par l'électricité ait été l'objet d'études approfondies de la part des Ingénieurs électriciens et des constructeurs de machines dynamos, puisque le système composé d'une machine génératrice, d'une machine réceptrice et d'un simple conducteur de cuivre remplaçait si avantageusement les anciennes transmissions mécaniques applicables seulement à une distance relativement faible, et permettait, en outre, d'utiliser à grande distance des forces naturelles condamnées jusqu'alors à rester inactives.

Nous pensons donc qu'il est intéressant de faire connaître

succinctement les différentes étapes par lesquelles a passé l'étude de cette question, en partant des courants continus pour revenir ensuite à l'emploi des courants alternatifs, que l'on savait produire bien avant les premiers.

Nécessité d'employer des courants de haute tension.

Pour pouvoir installer les transports de force à grande distance dans des conditions suffisamment économiques, il est désirable d'employer des courants électriques de tension élevée. En effet, ce qui influe sur les dépenses de premier établissement, ce n'est guère le type des dynamos constituant les stations génératrice et réceptrice, puisque leur prix est sensiblement le même, qu'elles soient à haute ou à basse tension, mais bien la ligne de cuivre qui les réunit.

Le poids de ce cuivre, pour une énergie donnée à transporter à une distance donnée, décroît rapidement à mesure que la tension augmente. C'est ce que met en évidence la formule suivante qui permet de calculer la section du conducteur :

$$S^{m/m.q} = \frac{aLI}{\varepsilon}$$

dans laquelle :

a est un coefficient constant,
L la longueur, en mètres, de la ligne,
I l'intensité, en ampères, à transporter,
ε un nombre de volts représentant une fraction de la tension du courant, généralement la dixième partie.

Si W watts représente l'énergie à transporter, E la tension admise, on aura : $I = W : E$.

et si on prend $\varepsilon = \frac{E}{n} . = \frac{1}{n} E$, la formule devient :

$$S = \frac{a.L.W}{\frac{1}{n} E^2}$$

ce qui montre que, pour une perte de charge donnée de $\frac{1}{n^e}$ de la tension, la section des conducteurs à employer pour transporter une énergie de W watts à une distance de L mètres, par suite

leur poids et leur prix varient comme l'inverse du carré de la tension du courant fourni par la génératrice.

Donc, pour un voltage 2E,

1° A perte de puissance égale dans la ligne, il suffira d'employer des conducteurs de section quatre fois moindre, ce qui produit une économie considérable dans les frais d'installation;

2° Pour un conducteur de section donnée, la perte d'énergie dans la ligne sera 4 fois moindre, ce qui correspondra à une économie dans le prix de revient de la force récupérée, économie d'autant plus sensible que la force initiale est plus coûteuse.

Le calcul ci-après met bien en évidence l'influence de l'emploi des hautes tensions sur la réduction des frais d'installation de la ligne.

Nous avons examiné le cas d'un transport de 40 *ch* à une distance de 3 *km* au moyen d'une génératrice et d'une réceptrice à courant continu en admettant sur la ligne une perte égale aux 10 0/0 de la tension du courant produit par la génératrice, ce qui correspond à un rendement de 90 0/0 pour la ligne. Nous avons supposé que l'on employait une génératrice donnant un courant dont la tension variait de 500 à 2 000 volts et nous avons calculé le poids et le prix des conducteurs dans chacune de ces hypothèses.

PUISSANCE À TRANSPORTER en watts (W)	TENSION AU DÉPART en volts (E)	INTENSITÉ DU COURANT en ampères (I)	PERTE DE CHARGE ε = 10 0/0 E	SECTION DU CONDUCTEUR (S)	DIAMÈTRE DU CONDUCTEUR (*d*)	LONGUEUR TOTALE DU CONDUCTEUR (Aller et retour)	VOLUME DU CUIVRE	POIDS DU CUIVRE	PRIX (2,50 *f* le kilogramme)
29 400	500	58,8	50	120 *mm*²	12,4 *mm*	6 000 *m*	720 *dm*³	6 448 *kg*	16 120 *f*
	1 000	29,4	100	30	6,2	6 000	180	1 612	4 030
	1 500	19,6	150	13,33	4,2	6 000	80	740	1 850
	2 000	14,7	200	7,50	3,1	6 000	45	403	1 007

Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, les rendements des dynamos, génératrice et réceptrice, ainsi que celui de la ligne étant les mêmes et par suite la proportion de puissance utilisable étant constante, on voit que pour une tension 4 fois plus grande, le poids de cuivre nécessaire pour la ligne est 16 fois moindre.

Transports de force par les courants continus.

On comprend dès lors pourquoi, après les expériences de Sermaize, en 1879, suivies de celles de Munich, en 1882, et de Grenoble, en 1883, M. Marcel Deprez, qui s'était attaché à l'étude de la question, après avoir constaté pratiquement que l'on pouvait transporter, par des lignes aériennes, sans perte sensible, des courants de très faible intensité, s'efforça de combiner, en vue de ces applications nouvelles, des dynamos à courant continu à voltage très élevé.

Dans les expériences de Creil, en 1886, il atteignit des potentiels de 9 000 volts; mais il rencontra des difficultés réelles pour obtenir de bonnes isolations ainsi que pour manipuler et régler de pareils courants. Aussi les constructeurs admettent-ils généralement comme limite du voltage le chiffre de 3 000 volts pour une dynamo à courant continu, cette limite étant commandée par le collecteur et l'isolement général.

On pourrait tourner la difficulté du collecteur en mettant plusieurs machines en série et en isolant soigneusement leurs bâtis de la terre; mais la difficulté de l'isolement général n'est cependant pas facile à résoudre et cette méthode n'a été appliquée que lorsque le voltage total doit dépasser 2 000 volts.

Aussi dans les applications de transport de force réalisées avec des dynamos à courant continu, tant en France qu'à l'Étranger, depuis les expériences de Creil, voyons-nous rarement employer des tensions supérieures à 3 000 volts.

En voici quelques exemples choisis parmi les plus intéressants:

DÉSIGNATION DU TRANSPORT	PUISSANCE transportée	DISTANCE du transport	TENSION maximum en volts	DIAMÈTRE du conducteur	RENDEMENT commercial
Kriegstetten à Soleure (1887) (2 dynamos en série)	50 *ch*	8 *km*	2 000	6*mm*	75 0/0
Bourganeuf (1889) (Dynamos Marcel Deprez)	62	14	3 450	5	60
Domène (Isère) (1890) (Dynamos Hillairet)	300	5	2 850	7,7	65
Ateliers d'Aix-la-Chapelle (Dynamos Brown)	23	2	1 100	»	75

Rendement. — Le *rendement commercial*, le seul qui intéresse l'industriel, est le produit de 3 facteurs :

1° Le rendement de la station génératrice;

2° Le rendement de la ligne;

3° Le rendement de la station réceptrice.

Nous avons vu que l'on admettait généralement une perte de 10 0/0 dans la ligne, le rendement de cette dernière est, dans ce cas, de 90 0/0. D'autre part, on construit actuellement des dynamos génératrices à courant continu qui restituent en énergie électrique les 92 0/0 de l'énergie mécanique qu'elles absorbent, et des dynamos réceptrices qui restituent en énergie mécanique les 85 0/0 de l'énergie électrique qui leur est fournie. Dans ces conditions le rendement d'un transport de force serait de :

$$0,92 \times 0,90 \times 0,85 = 0,6953$$

On peut atteindre 75 0/0 ainsi que le montrent les chiffres cités plus haut, et on peut dire qu'avec des conducteurs de faible diamètre et l'emploi de courants continus de 2 000 à 3 000 volts on peut créer des transports de force dont le rendement industriel varie de 60 à 75 0/0.

Prix de revient. — Il est également intéressant d'avoir une idée approximative des *prix de revient* auxquels on peut arriver pour le cheval disponible sur l'arbre d'une réceptrice, bien que ce prix soit nécessairement variable, dans chaque cas, suivant les conditions locales.

C'est dans ce but que nous reproduisons ci-après un tableau dressé il y a quelques années par M. Brown, Ingénieur des ateliers d'Œrlikon, s'appliquant à des transports de force effectués par lui. Le prix total comprend tout : appareils de réglage, instruments, isolateurs, paratonnerres, établissement de la ligne, etc.

DISTANCES en MÈTRES	CHEVAUX FOURNIS	VITESSE du MOTEUR	PRIX EN FRANCS DE LA			PRIX TOTAL	PRIX par CHEVAL
			GÉNÉRATRICE	RÉCEPTRICE	LIGNE		
450	51	600	8 000	7 000	1 500	18 000	352
900	71	600	11 000	10 000	1 500	26 000	365
1 500	150	600	19 000	18 000	8 250	51 250	342
3.000	85	450	16 000	14 000	11 000	47 000	552
6 000	220	600	26 000	24 000	16 000	74 000	338
8 000	41	750	6 000	5 000	8 600	25 500	620
10 000	11	900	3 300	2 750	12 000	24 000	2 175

Nous pouvons résumer l'étude générale que nous venons de faire sur les transports d'énergie par courant continu, en disant que ce système est économique et faisable pour des distances où le voltage le plus économique n'excède pas 2000 à 3000 volts. Au delà de ces distances, il faut appliquer un autre système.

Transports de force par les courants alternatifs ordinaires.

Puisque, d'une part, il est nécessaire d'avoir recours aux hautes tensions et que, d'autre part, la présence d'un collecteur dans les dynamos à courant continu ne permet pas de dépasser pratiquement 3000 volts, on se trouve amené à utiliser, pour les transports de force à grande distance, les dynamos à courants alternatifs qui, étant dépourvues de collecteurs, peuvent aisément donner des tensions de 10000 volts.

Mais comme des courants d'aussi haut potentiel ne pourraient être utilisés, à la station réceptrice, pour l'éclairage, ni pour la production de la force motrice, il faut les *transformer* en courants de basse tension, et cette transformation ne peut évidemment se faire sans une certaine perte.

Enfin, les courants de 10000 volts présentant certains dangers, on est souvent amené à produire à la station génératrice des courants alternatifs de tension modérée qui, dans l'usine même, sont transformés en courants de très haute tension pour le transport sur la ligne ; ces courants sont de nouveau transformés à la station réceptrice en courants de tension modérée utilisables pour l'éclairage ou pour la production de la force motrice. On est donc obligé à deux transformations.

On peut admettre que le rendement commercial d'un alternateur-générateur est de 80 à 85 0/0, et que celui d'un alternateur-récepteur varie de 70 à 80 0/0, suivant la puissance de ces machines.

Le rendement des transformateurs, à pleine charge, peut atteindre 95 0/0.

Enfin, avec l'emploi des hautes tensions, on peut obtenir, pour des lignes aériennes à conducteurs de section modérée, et suivant la distance du transport, des rendements de 85 à 95 0/0.

Il en résulte que le rendement industriel d'un transport de force par courants alternatifs peut varier dans les limites suivantes, selon que le courant amené à la station réceptrice y est utilisé pour l'éclairage ou qu'il sert à faire tourner des moteurs.

A. — TRANSPORTS AYANT POUR BUT D'UTILISER LE COURANT A L'ÉCLAIRAGE

1° Transformation du courant à l'arrivée seulement.

Rendement des appareils :

$0,80 \times 0,95 = \mathit{0,76}$ à $0,85 \times 0,95 = \mathit{0,807}$

Rendement de la ligne : 0,85 à 0,95.

Rendement total :

$0,76 \times 0,85 = \mathit{0,646}$ à $0,807 \times 0,95 = \mathit{0,767}$

2° Transformation du courant au départ et à l'arrivée.

Rendement des appareils :

$0,80 \times 0,95 \times 0,95 = \mathit{0,722}$ à $0,85 \times 0,95 \times 0,95 = \mathit{0,767}$

Rendement de la ligne : 0,85 à 0,95.

Rendement total :

$0,722 \times 0,85 = \mathit{0,613}$ à $0,767 \times 0,95 = \mathit{0,728}$

B. — TRANSPORTS AYANT POUR BUT D'UTILISER LE COURANT POUR LA FORCE MOTRICE

(Les rendements des appareils calculés plus haut, dans les deux hypothèses où nous nous sommes placés, doivent être multipliés par le rendement des moteurs à courants alternatifs ou alternateurs-récepteurs, lequel varie de 0,70 à 0,80, suivant la puissance des appareils.)

1° Transformation du courant à l'arrivée seulement.

Rendement des appareils :

$0,76 \times 0,70 = \mathit{0,532}$ à $0,807 \times 0,80 = \mathit{0,646}$.

Rendement de la ligne : 0,85 à 0,95.

Rendement total :

$0,532 \times 0,85 = \mathit{0,452}$ à $0,646 \times 0,95 = \mathit{0,614}$.

2° Transformation du courant au départ et à l'arrivée.

Rendement des appareils :

$0,722 \times 0,70 = \mathit{0,505}$ à $0,767 \times 0,80 = \mathit{0,614}$.

Rendement de la ligne : 0,85 à 0,95.

Rendement total :

$0,505 \times 0,85 = \mathit{0,429}$ à $0,614 \times 0,95 = \mathit{0,583}$.

Exemples. — Nous citerons deux exemples de transports de force rentrant dans ces deux catégories.

1° Transport de 1 900 ch à 24.858 m, de Tivoli à Rome, avec transformation à l'arrivée seulement.

La force initiale de 1 900 *ch* est absorbée par des alternateurs donnant une tension de 5 100 volts. Le courant passe directement dans la ligne à 4 conducteurs aériens de 104 mm^2 de section (11,5 *mm* de diamètre) et il est reçu, à l'arrivée, dans des transformateurs dont la puissance disponible est de 1 194,5 *ch*.

Le courant est utilisé pour l'éclairage ; on a :

Rendement des générateurs.	0,7658
Rendement des transformateurs . . .	0,97
Rendement des appareils	$0,7658 \times 0,97 = 0,7428$
Rendement de la ligne	0,846
Rendement commercial total	$0,7428 \times 0,846 = 0,6287$

Si la puissance devait être utilisée mécaniquement au lieu de l'être pour l'éclairage, on aurait pour le rendement total :

$$0,6287 \times 0,70 = 0,44 \text{ à } 0,6287 \times 0,80 = 0,503.$$

Moyenne : 0,4715.

2° Transport de 163 ch à 24 et à 45 km, à Ponoma (Californie), avec transformation au départ et à l'arrivée.

La force initiale de 163 *ch* est absorbée par un alternateur produisant un courant de 1 000 volts. Ce courant passe dans 20 transformateurs, situés à l'usine génératrice, et dont les enroulements secondaires sont groupés en série de manière à produire un courant de 10 000 volts. De ces transformateurs part une ligne de 24 *km*, dont le rendement est de 0,95, et une autre ligne de 45 *km*, dont le rendement est de 0,90. Le courant arrive dans des transformateurs et est distribué pour l'éclairage. On a :

Rendement de la génératrice . .	0,85
Rendement des transformateurs.	0,95
Rendement des appareils. . . .	$0,85 \times 0,95 \times 0,95 = 0,767$

Rendement commercial :

1° Ligne de 24 *km* : $0,767 \times 0,95 = 0,7287$.
2° Ligne de 45 *km* : $0,767 \times 0,90 = 0,6903$.

Si la puissance devait être utilisée mécaniquement au lieu de l'être pour l'éclairage, on aurait pour le rendement total :

1° Ligne de 24 *km* :

0,7287 × 0,70 = 0,51
à 0,7287 × 0,80 = 0,5829 } Moyenne : 0,5465.

2° Ligne de 45 *km* :

0,6903 × 0,70 = 0,4832
à 0,6903 × 0,80 = 0,5522 } Moyenne : 0,5177.

On voit donc qu'il est pratiquement possible, dans bien des cas, de créer, au moyen des courants alternatifs, des transports à grande distance pour l'utilisation des forces naturelles à l'éclairage et même pour la création de forces motrices ; malheureusement, pour cette dernière application, les alternateurs-générateurs et les électromoteurs à courants alternatifs ordinaires présentent des inconvénients qui en rendent souvent l'emploi difficile et qu'il importe de signaler.

1° En ce qui concerne les alternateurs employés comme générateurs, il faut distinguer ceux dans lesquels l'intensité du courant inducteur est constante, c'est-à-dire ceux dans lesquels l'excitation est produite par une dynamo à courant continu, et ceux dans lesquels le courant inducteur est alternatif et de même période que le courant induit, auquel cas l'excitatrice est également un alternateur.

Dans les alternateurs de la première catégorie (ceux à excitation par courant continu), la variation de flux dans l'armature dépend de sa vitesse de rotation ; il faut donc que cette armature tourne avec une vitesse rigoureusement déterminée si on veut obtenir ou utiliser des courants de fréquence déterminée. On y arrive facilement en employant une seule machine de ce genre comme génératrice ; mais si on veut accoupler plusieurs de ces machines il faut les commander chacune par un moteur distinct. Dans ces conditions elles tendent à se synchroniser d'elles-mêmes si leurs armatures sont montées en parallèle, ou si, étant montées en tension, on munit le circuit de chaque armature d'un condensateur.

Or, l'obligation de commander chaque génératrice par un moteur spécial constitue une grande sujétion pratique.

Pour les alternateurs de la deuxième catégorie (ceux à excitation par courants alternatifs), il faut avoir recours à des machines unipolaires ou à des machines munies d'un collecteur Gramme.

Les machines unipolaires n'ont pas de collecteur, ce qui est une bonne condition dans le cas de la haute tension, mais il est presque impossible d'empêcher les courants de Foucault de s'y développer, ce qui diminue le rendement.

Si, d'autre part, on emploie un collecteur Gramme, on se prive du principal avantage des machines à courants alternatifs qui consiste justement à éviter l'usage de ce collecteur.

2° En ce qui concerne maintenant les électromoteurs (ou récepteurs) à courants alternatifs, on se heurte à deux graves inconvénients :

Ces machines ne se mettent pas spontanément en mouvement ; il faut les lancer au démarrage, opération qui présente d'autant plus de chance de ratés que la fréquence des courants employés est plus grande. Cette opération du lancer se fait en mettant la machine en marche à vide, en l'actionnant à la main ou de toute autre manière, afin de lui donner la vitesse de rotation nécessaire pour développer une force contre-électromotrice de même période que le courant alternatif envoyé dans l'induit. A ce moment, un couple moteur d'une valeur déterminée étant créé sur l'arbre de la machine, si on équilibre ce couple par un couple résistant extérieur, et si on cesse d'agir mécaniquement sur la rotation de l'alternateur-récepteur, le régime de fonctionnement se trouvera établi et la machine continuera à tourner.

Si maintenant ce couple résistant a des fluctuations dépassant certaines limites, l'électromoteur sera mis hors de phase, autrement dit sera désynchronisé et il s'arrêtera.

En résumé, ces deux inconvénients : impossibilité du démarrage sous charge, arrêt spontané en cas de surcharge importante, rendent les électromoteurs à courants alternatifs impropres à un grand nombre d'applications.

Cependant les courants alternatifs ordinaires grâce auxquels on peut créer des transports d'énergie avec des tensions en ligne allant pratiquement jusqu'à 10 000 volts, ont permis de résoudre des problèmes qu'on n'aurait pu aborder avec les courants continus à tension maximum de 3 000 volts, puisque, dans ces conditions, on peut amener le courant de la station génératrice à la station réceptrice, à des distances de 20 et même de 50 *km* moyennant une perte variant, suivant la distance, de 15 à 10 0/0 et même moins, tout en n'augmentant pas au delà des limites raisonnables la section des conducteurs et par suite le poids de cuivre qu'ils représentent.

Machines à courants alternatifs à champ tournant.

Dans ces dernières années, on est arrivé à triompher des difficultés que nous venons de signaler en employant des machines à champ tournant, dans lesquelles la période du courant alternatif est fonction de la vitesse de rotation de la machine et qui présentent les mêmes avantages que les dynamos à courant continu tout en étant démunies de tout collecteur.

Il est donc indispensable d'indiquer le principe sur lequel reposent ces machines.

On sait qu'un alternateur ordinaire se compose en principe d'une bobine mobile dans le champ magnétique d'un aimant ou d'un électro-aimant. A chaque rotation de la bobine il s'y produit un courant alternativement positif et négatif.

Réciproquement, si on dispose dans l'intérieur d'un aimant en fer à cheval A, mobile autour d'un axe *aa*, un tambour en fer B sur lequel sont enroulés des fils fermés sur eux-mêmes comme le représente la figure 1 et mobile autour du même axe longitudinal (*aa*); et si l'on fait tourner l'aimant, on engendrera dans la bobine de forts courants. Il se produira donc un couple très énergique qui déterminera la rotation de cette bobine autour de son axe.

Cette rotation a lieu sous l'influence du *champ tournant* de l'aimant.

Si l'on parvenait à séparer ces deux éléments, c'est-à-dire à créer, au lieu d'utilisation, un champ tournant, on aurait résolu le problème puisqu'on aurait une machine puissante sans collecteur. Or, ce résultat peut être obtenu en envoyant dans des circuits convenablement enroulés autour d'un anneau fermé, en fer, des courants alternatifs qui développent dans cet anneau deux aimantations de sens et d'intensité variables. On a ainsi un champ magnétique tournant dans un anneau immobile.

La combinaison est la suivante :

A l'endroit où l'on dispose de la puissance motrice on met en marche un alternateur composé par exemple d'un aimant NS mobile autour d'un axe O (*fig.* 2) et tournant dans l'intérieur d'un anneau A garni de deux circuits en série *b*, *b'* ; on relie ces circuits à un anneau semblable B garni de deux bobines *cc'* également en série et placées dans un sens diamétralement opposé, cet anneau étant au lieu d'utilisation. Quand l'aimant NS tourne

il se produit dans les circuits b, b', des courants induits qui, transmis aux bobines c, c', développent dans l'anneau B deux pôles N'S' dont l'intensité, nulle quand l'aimant est horizontal, va en croissant quand cet aimant tourne dans le sens de la flèche, atteint un maximum quand l'aimant est vertical, décroît quand il dépasse la position verticale et redevient nulle quand l'aimant a repris sa position horizontale. Mais le mouvement de l'aimant continuant dans le même sens, l'intensité du magnétisme de l'anneau B repasse par les mêmes phases avec cette différence toutefois que le pôle S de l'aimant mobile se trouvant maintenant au-dessus de l'axe XX au lieu d'être au-dessous, et le pôle N, au-dessous de cet axe au lieu d'être au-dessus, la polarité de l'anneau B se trouve renversée.

Les variations d'intensité du magnétisme de l'anneau B peuvent être représentées graphiquement par la projection des positions successives de l'aimant mobile sur l'axe vertical YY' de l'anneau (*fig. 3*).

L'aimant mobile étant en NS, sa projection sur YY' est en O ; il n'y a pas d'aimantation de l'anneau B.

L'aimant mobile ayant tourné dans le sens de la flèche, l'aimantation s'est développée dans l'anneau B et, quand il est en N'S', cette aimantation est représentée en grandeur par la projection On' pour le pôle N et par la projection Os' pour le pôle S. (Comme il y a des pertes dans la transmission du courant d'aimantation on a représenté par ON l'intensité maximum du champ de l'aimant tournant et par une ligne plus petite ON_1 l'intensité du champ maximum développé dans l'anneau B. C'est la projection de ON_1 qui représente en grandeur l'aimantation produite dans l'anneau B par l'intensité magnétique ON de l'aimant tournant.)

La projection de ON_1 passe donc, comme on le voit sur la figure, de zéro au maximum ON''_1, et de ce maximum à zéro. Puis l'aimantation change de sens : croît de zéro à son maximum et revient à zéro, et ainsi de suite.

On a ainsi développé dans l'anneau B un *champ oscillant mais non tournant*.

Si maintenant on complète la disposition précédente en mettant des bobines horizontales sur l'anneau A et des bobines verticales sur l'anneau B, on aura créé un deuxième champ oscillant dans cet anneau (*fig. 4*).

Le champ oscillant produit par les bobines 1, 1, était représenté en grandeur par les projections de ON_1 sur l'axe vertical YY'

(*fig.* 5); le champ oscillant produit par les bobines 2, 2, sera représenté par les projections de ON_1 sur l'axe horizontal XX'. Pour une position déterminée ON'_1 par exemple, les deux champs créés étant représentés, pour le pôle N, par On' et On_1, leur résultante sera le point N'_1 tournant autour de O comme centre sur le cercle R.

Donc, l'effet de rotation d'un aimant réel dans l'anneau A de la génératrice sera la production d'un *champ magnétique tournant*, d'une intensité ON'_1 dans l'anneau B du moteur, une sorte d'aimant tournant qui produit le même effet qu'un aimant réel.

On voit qu'il faut quatre fils de jonction pour réaliser la combinaison ci-dessus décrite, mais on peut les réduire à trois. Si on s'arrange de manière à égaliser le potentiel entre les fils F et F' en les reliant aux bornes terminales des machines, on ne dérangera pas la marche de ces dernières.

On peut encore enlever l'un des fils en question et employer l'autre pour les deux circuits à condition de lui donner une plus grande capacité.

Pratiquement, pour effectuer un transport de force par ce système, on a à la station génératrice un alternateur dont l'armature est enroulée de deux circuits donnant des courants ayant une différence de phase d'un quart de période, ce qui réalise la combinaison décrite plus haut pour l'alternateur A. Ces courants étant conduits par trois fils de ligne pénètrent à la station réceptrice dans un moteur pourvu d'électros excités par des bobines placées alternativement dans les deux circuits de manière à produire le champ tournant; l'armature de ce moteur est faite d'un noyau de fer entouré par des bobines fermées sur elles-mêmes.

L'inconvénient d'un pareil moteur est de ne pas se régler automatiquement. La vitesse peut être comprise entre zéro et celle qui correspond au synchronisme entre les deux machines, suivant que la charge varie du maximum jusqu'à zéro. Ce défaut peut être combattu en disposant près de l'armature du moteur un aimant réel qui force cette armature à se régler par rapport au courant et on obtient ainsi la même vitesse pour des charges différentes. Le moteur se mettra en route avec une grande puissance en vertu des courants induits dans l'enroulement sur l'armature, par le champ tournant, et, ayant atteint sa vitesse correspondant au synchronisme, cette vitesse se maintiendra en vertu de l'action réciproque entre le champ tournant et l'aimant tournant. Le moteur se comportera comme un moteur ordinaire à

courants alternatifs, avec cette différence essentielle cependant, qu'un moteur ordinaire alternatif s'arrête lorsque la charge atteint 50 ou 100 0/0, tandis qu'un moteur tel que celui que nous venons de décrire est toujours prêt à se remettre en marche lorsque la surcharge est enlevée.

Application des dynamos à champ tournant.

C'est en suivant les principes que nous venons d'indiquer sommairement que M. Brown d'Œrlikon établit, en 1891, une transmission de 500 *ch* entre Bulach et Œrlikon, sur une distance de 24 *km*.

La génératrice G contient un champ magnétique tournant et une armature fixe enroulée avec trois bobines différentes $b\,b'b''$ (*fig. 6*). L'extrémité de chaque bobine est reliée à un fil commun f; les extrémités libres sont reliées aux trois fils de ligne L.

La réceptrice R se compose d'une armature mobile A portant des enroulements fermés, et d'un électro-aimant à trois branches $c\,c'c''$. Les bobines de ces électros sont reliées, d'un côté, aux fils de ligne L, de l'autre à un fil commun f'. La rotation de la génératrice crée dans les branches $c\,c'c''$ de l'électro-récepteur des polarités successives, ce qui a pour résultat de produire un champ tournant.

Le système est connu sous le nom de transmission par courants triphasés.

Pour simplifier les explications, nous avons supposé que les machines génératrices étaient construites à deux pôles; dans la pratique, elles le sont à plusieurs pôles, ce qui évite de trop grandes vitesses.

L'application faite par M. Brown, en 1891, pendant l'Exposition d'électricité de Francfort, entre cette dernière ville et Lauffen, avait pour but de prouver expérimentalement que le système permettait le transport sans dangers et sans pertes exagérées d'une force motrice à de très grandes distances.

Cette distance était de 175 *km*.

L'expérience a pleinement réussi : à Lauffen, on avait des turbines développant 120 *ch* qui étaient absorbés par une dynamo à courants alternatifs triphasés produisant un courant à basse tension, lequel était immédiatement transformé en un courant de 10 000 volts (la tension a atteint 30 000 volts pendant les expériences). De ce transformateur le courant était conduit à Francfort

par une ligne à trois conducteurs en cuivre nu, aériens, de 4 *mm* de diamètre. A Francfort, le courant à haute tension était retransformé en un courant à basse tension qui actionnait la réceptrice à courants alternatifs triphasés.

Pendant les expériences, on marchait couramment à 16 000 volts. Voici des rendements relevés sur le tableau des essais publié par la Commission d'examen :

Rendement	de la génératrice.	0,88 à 0,935
—	du transformateur primaire. . .	0,925 à 0,961
—	de la ligne.	0,942 à 0,836
—	du transformateur secondaire. .	0,933 à 0,957
—	de la réceptrice.	0,721 à 0,753

Le rendement commercial total (rapport entre le travail pris sur l'arbre du moteur et l'arbre de la turbine) a varié de 0,721 à 0,753.

L'installation n'était que provisoire, elle constituait une expérience et non une application, aussi ne faut-il pas s'attacher aux frais d'installation qui se sont élevés à 1 500 *f* par cheval effectif rendu (prix dans lequel la ligne entre pour 1 250 *f*).

Ce prix est évidemment considérable, mais cela tient à ce qu'on avait transporté une puissance relativement trop petite à une distance trop grande. Ces deux facteurs influent sur les frais de premier établissement et il faut y avoir égard dans toutes les applications.

Quoi qu'il en soit, il se dégage de ces essais que les transports à très grande distance sont maintenant possibles grâce à l'emploi des courants triphasés.

Nous ajouterons d'ailleurs que l'installation hydraulique de Lauffen a été utilisée en 1892, après l'Exposition de Francfort, pour un transport de 27,20 *ch* à Heilbronn, localité distante de Lauffen de 11 *km*, en se servant du même système.

L'alternateur placé à Lauffen est mû directement par une turbine; il est excité par une dynamo à courant continu de 60 volts de tension et peut donner 400 ampères sous 50 volts, soit 20 000 watts ou 27,20 *ch*; un transformateur, placé à côté, élève la tension à 5 000 volts; une ligne aérienne à trois conducteurs nus de 6 *mm* de diamètre amène à Heilbronn, dans un transformateur semblable à celui du départ, le courant, qui en sort à la tension de 1 500 volts. Puis de là ce courant est distribué à d'autres transformateurs qui réduisent la tension de 1 500 volts à 100 volts

pour actionner soit des appareils d'éclairage, soit des moteurs triphasés de 1 à 5 *ch*, sans collecteurs ni balais, dont le rendement commercial est de 0,72.

Le rendement commercial total de ce transport d'énergie peut être évalué en moyenne à 0,75, de sorte que si le courant sortant du transformateur à l'arrivée, à Heilbronn, est employé à faire tourner un moteur de 0,72 de rendement, on récupère les $0{,}75 \times 0{,}72 = 0{,}54$ de la force employée au départ; autrement dit, sur 100 *ch* développés par la turbine à Lauffen, on peut en utiliser à Heilbronn 54, disponibles sur l'arbre des moteurs.

L'installation a coûté 325 000 *f*, tout compris, même la chute, et comme on peut, avec la puissance transmise, alimenter 3 200 lampes, le prix de revient d'une lampe est de 100 *f*, ce qui n'est pas exagéré.

Une application moins grandiose, mais qui présente un grand intérêt en ce qu'elle permet de se rendre compte des rendements auxquels on peut atteindre dans les cas les plus ordinaires de la pratique est celle qui a été réalisée récemment dans l'usine Menier à Noisiel.

Il s'agissait de transporter à une distance de 2 *km* une force motrice hydraulique et de l'utiliser à cette distance pour actionner une batteuse en grange à grand débit, un laveur de betteraves avec élévateur, un coupe-racines et un hache-paille, tous trois commandés par un arbre intermédiaire, un treuil de levage pour bottes de foin, et enfin pour alimenter en même temps les lampes à incandescence destinées à éclairer une ferme modèle.

On a choisi pour ce transport d'énergie des moteurs à courants alternatifs biphasés.

Les turbines actionnent à la station génératrice un alternateur biphasé de 75 *ch* à 8 pôles faisant 600 tours par minute; le courant produit à 150 volts est immédiatement transformé à 2 700 volts et se rend à la station réceptrice par une ligne formée :

1° D'une partie souterraine de 500 *m* de longueur constituée d'un câble armé de deux bandes d'acier enroulées en sens contraire, renfermant quatre torons de chacun 7 mm^2 isolés au caoutchouc et sous plomb;

2° D'une partie aérienne de 1 000 *m* de longueur en fils de bronze siliceux de 3 *mm* de diamètre;

3° D'une autre partie souterraine pour la traversée d'une route départementale;

4º Enfin d'une ligne de nouveau aérienne constituée comme la précédente.

A la station réceptrice le courant de 2 700 volts passe dans des transformateurs semblables à ceux du départ et qui réduisent la tension à 105 volts, puis il pénètre dans les trois moteurs biphasés dont deux ont une puissance de 25 à 30 *ch* et le troisième une puissance de 1,5 *ch* seulement.

Voici la répartition des pertes aux diverses allures et les rendements :

	A PLEINE CHARGE des transformateurs, les deux gros moteurs marchant seuls	A CHARGE MOYENNE des trois moteurs	A CHARGE MOYENNE d'un seul gros moteur
	Watts	Watts	Watts
Puissance utile à la poulie des moteurs . .	26 000	21 000	10 000
Pertes dans les moteurs	4 000	2 550	1 100
Pertes en lignes à basse tension.	400	240	65
Pertes dans les transformateurs à l'arrivée.	1 200	950	685
Pertes en lignes à haute tension.	600	350	80
Pertes dans les transformateurs au départ.	1 250	970	710
Perte dans l'alternateur.	4 450	4 140	3 680
Puissance totale à la poulie de l'alternateur.	37 900	30 200	16 320
RENDEMENT TOTAL de la distribution de force.	0,69	0,695	0,613

Ces résultats sont obtenus avec une fraction seulement de la charge que l'alternateur peut supporter et avec une puissance relativement faible.

Conclusion.

On se rendra compte, d'après cet exposé, des phases successives par lesquelles on est passé depuis dix-huit ans, que d'immenses progrès ont été réalisés et que le problème du transport de l'énergie à grande distance a pu être résolu, en abandonnant les courants continus à haute tension pour les courants alternatifs modifiés de façon à faire disparaître les inconvénients qui en rendaient l'application difficile pour la transmission de la puissance mécanique. On construit, en effet, des électromoteurs à courants alternatifs diphasés, triphasés ou polyphasés, ne nécessitant pas

le lancer au démarrage, ne s'arrêtant pas en cas de surcharge importante, ayant en un mot les avantages des électromoteurs à courant continu et permettant de plus l'emploi des hautes tensions, condition indispensable pour transporter l'énergie électrique à de grandes distances par des conducteurs de faible section.

Transformation des courants alternatifs en courant continu.

Mais si l'emploi des courants alternatifs polyhasés donne une solution avantageuse de la transmission mécanique par courants de haute tension, il y avait encore une lacune à combler : dans certains cas l'énergie électrique transportée à une usine doit y être utilisée pour des opérations électrolytiques, et, dans d'autres cas, il serait intéressant de pouvoir recueillir cette électricité dans des accumulateurs. Or, les courants alternatifs simples ou polyphasés ne conviennent pas à ces deux opérations.

Dès lors se posait le problème de la transformation des courants alternatifs en courant continu.

Il a été résolu par MM. M. Leblanc et Hutin à l'aide d'un appareil auquel les auteurs ont donné le nom de Panchahuteur. Cet appareil comporte un circuit primaire et un circuit secondaire enroulés autour de noyaux de fer, c'est-à-dire des circuits magnétiques fermés dans lesquels s'opère la transformation.

Les essais faits près de Paris, entre Épinay et la Chapelle, ont été couronnés de succès, et aujourd'hui on possède le moyen pratique de transformer du courant alternatif à haute tension en courant continu et inversement. Ces essais recevront une consécration définitive par l'emploi de transformateurs rotatifs de fréquence et tension de 1 000 *ch*.

Tel est l'état actuel de la question du transport de la force à grande distance ; les progrès accomplis depuis l'année 1880, époque à laquelle le problème a été posé, sont tels que les applications sont possibles et se multiplieront sans doute dans tous les pays possédant des forces hydrauliques disponibles et où le prix des combustibles est élevé.

II. — TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE A PETITE DISTANCE ET DANS LES ATELIERS

Avantages des transmissions électriques.

Le transport de la force à grande distance, tout intéressant qu'il soit pour l'industrie, l'est certainement moins que la transmission à petite distance, c'est-à-dire d'une partie d'une usine à l'autre ou dans l'intérieur d'un atelier.

Le seul moyen de transmettre la puissance d'un moteur aux différents outils d'une manufacture consistait, avant la découverte des machines dynamo-électriques, dans l'emploi d'arbres de transmissions s'entraînant les uns les autres à l'aide de roues d'engrenages ou de poulies et de courroies, ce qui conduisait à un attirail compliqué, encombrant, et parfois d'un rendement excessivement faible. Les transmissions mécaniques ont de plus le grave inconvénient d'offrir un rendement rapidement décroissant avec la charge.

Ainsi, en calculant le rendement d'une transmission par poulies et courroies pour des charges variant de 1 000 à 200, on trouve que le rendement initial de 0,794 à pleine charge (chiffre relativement élevé) s'abaisse successivement à 0,725, 0,588, 0,381, 0,176 pour des charges de 750, 500, 333 et 250, et devient nul quand la charge atteint 200, soit le cinquième de la charge maximum.

Tandis que la même transmission réalisée électriquement, c'est-à-dire à l'aide d'une dynamo génératrice mue par un moteur et envoyant son courant à des dynamos réceptrices conduisant les machines-outils, soit directement, soit à l'aide d'une transmission mécanique destinée à réduire la vitesse de la réceptrice dans la proportion nécessaire pour le travail de l'outil, permet d'obtenir pour les mêmes charges variant de 1 000 à 200, des rendements de 0,794, 0,787, 0,747, 0,662, 0,57 et 0,472.

En dehors de cette meilleure utilisation de la force motrice, l'emploi de l'électricité procure des avantages qui, dans la plupart des cas, sont d'une importance capitale : possibilité de centraliser en un point quelconque de l'établissement industriel les machines motrices et de distribuer leur force aux divers ateliers quel que soit leur groupement; suppression de tous organes intermédiaires et, par conséquent, possibilité de disposer les outils dans des locaux quelconques, de les déplacer sans frais appré-

ciables, d'opérer facilement les agrandissements nécessaires; réduction au minimum de la quantité des masses en mouvement; possibilité de débrayer facilement et de faire varier la vitesse de chaque élément de la transmission; mise en marche sans chocs; absence de toute perturbation dans la vitesse des différentes parties de la transmission lorsqu'une majoration brusque se produit dans le travail demandé, etc.

Ces avantages sont surtout frappants quand il s'agit d'actionner différents engins répartis sur un chantier de travaux ou dans une gare de chemin de fer.

Malgré les nombreuses applications de transmissions électriques qui ont été réalisées depuis quelques années, il y a lieu de s'étonner que le nombre n'en soit pas plus considérable, et la raison en est peut-être dans la nouveauté relative du système et la crainte de certains industriels qui n'osent pas innover ou modifier d'anciennes installations.

Il est donc intéressant de faire connaître les conditions d'emploi des électromoteurs; c'est ce que nous nous proposons dans ce qui va suivre en limitant cette étude aux réceptrices à courant continu qui, pour de petites distances, nous paraissent préférables aux réceptrices à courants alternatifs polyphasés.

Nous allons donc examiner, aussi succinctement que possible, le mode de fonctionnement des électromoteurs à courant continu et apprécier la proportion de travail utile qu'ils peuvent donner par rapport au travail qui leur est fourni (1).

Mode de fonctionnement des électromoteurs à courant continu.

Nous rappellerons tout d'abord que toute machine dynamo comprend un *inducteur* (aimant ou électro-aimant) et un induit ou *armature* située entre les deux pôles N et S de l'inducteur.

En général, l'inducteur est fixe et l'armature mobile autour d'un axe; cette armature consiste pour les machines Gramme ou du type Gramme en un anneau de fer doux autour duquel est enroulé un fil dit fil induit.

Quand la machine ainsi constituée doit être employée comme *génératrice* de courant, on fait tourner l'armature et le fil induit

(1) A ce propos, nous croyons devoir signaler tout particulièrement à ceux que la question intéresse l'ouvrage de M. H. Leblond sur les *Moteurs électriques à courant continu*. Nous y avons puisé de très utiles renseignements.

se déplaçant dans le champ magnétique de l'inducteur est le siège de courants d'induction que l'on recueille à l'aide d'un collecteur.

Si, au contraire, la machine doit être employée comme *réceptrice*, on lance un courant dans le fil de l'armature; on transforme ainsi l'anneau de fer doux sur lequel ce fil est enroulé, en un aimant dont le champ magnétique, réagissant sur celui de l'inducteur, produit un couple en vertu duquel l'armature se met à tourner.

Il est facile de s'en rendre compte en remarquant :

1° Que dans toute machine constituée comme nous venons de l'expliquer, lorsqu'il ne passe aucun courant dans le fil de l'armature, il s'établit un flux de force magnétique dont la direction est indiquée par les lignes NS passant par l'anneau de fer, puisque ce métal est plus perméable que l'air au flux magnétique (*fig.* 7);

2° Que si on lance un courant dans le fil entourant le noyau en fer *aa* de l'armature, on transforme ce noyau en un aimant dont les pôles sont situés en *n* et *s*, et on crée un double flux magnétique dirigé du pôle *n* au pôle *s* suivant les lignes indiquées en traits ponctués sur la figure 8.

Il suffit de jeter les yeux sur ce croquis pour voir, d'abord que le pôle inducteur N attire le pôle *s* et repousse le pôle *n*; que le pôle inducteur S attire le pôle *n* et repousse le pôle *s*, et que, par conséquent, ces attractions et répulsions concourent toutes à faire prendre à l'anneau un mouvement de rotation dans le sens de la flèche *f* (*fig.* 8).

Mais il convient, en outre, de remarquer que la combinaison du champ de l'armature et du champ de l'inducteur a pour effet de renforcer ce dernier dans l'*entrefer* (c'est-à-dire dans l'intervalle existant entre l'armature et l'inducteur), aux points A et B, et de l'affaiblir, au contraire, en A′ et B′ (*fig.* 9).

Comme conséquence de ce fait, le flux magnétique dans l'anneau est renforcé en *a* et en *b*, de sorte que la ligne MM′ joignant les points de l'anneau où l'intensité magnétique est maximum, ligne qui passerait par les pôles *n*, *s*, de cet aimant circulaire, si l'influence perturbatrice signalée ci-dessus n'existait pas, est déviée et se trouve maintenant en M_1M_1'.

Or, on démontre que toutes les spires qui constituent l'enroulement de l'anneau mobile concourent à faire tourner cet anneau dans le même sens, à condition que le courant moteur qui les traverse ait même direction dans toutes celles de ces spires qui

sont situées d'un côté du plan passant par la ligne qui joint les points de l'anneau où le flux magnétique est maximum, et une direction contraire dans toutes celles qui se trouvent placées de l'autre côté de ce plan.

La figure 10 montre que dans le cas d'un électromoteur à huit bobines induites 1, 2, 3, 4, et 1', 2', 3', 4', par exemple, cette condition ne se trouverait pas remplie si on plaçait les balais amenant le courant moteur dans le plan MM', c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe qui joint les pôles de l'inducteur, puisque, ainsi que nous l'avons établi, il y a eu *distorsion* du champ magnétique, et que la ligne joignant les points de l'anneau où l'intensité magnétique est maximum est maintenant en M_1M_1'. Les bobines 4 et 4' qui, dans chaque moitié de l'anneau, se trouvent parcourues par un courant de sens contraire à celui qui circule dans les bobines 1, 2, 3, et 1', 2', 3' agissent par conséquent en sens inverse de ces bobines et diminuent l'effet utile du moteur *(fig. 10)*.

Si, au contraire, on place les balais dans le plan M_1M_1' *(fig. 11)*, on voit que le courant moteur est de même sens dans les deux groupes de bobines 4', 1, 2, 3 et 4, 1', 2', 3' placées de part et d'autre de ce plan; et on évite ainsi l'inconvénient que nous venons de signaler.

Il faut donc *caler les balais* en arrière dans un plan faisant un certain angle (dit angle de calage) avec le plan perpendiculaire à la ligne des pôles; et l'expérience indique cette position qui permet également d'éviter la production d'étincelles d'extra-courant au collecteur, cause d'usure rapide de cet organe.

L'angle de calage devant varier selon l'intensité du courant qui passe dans l'induit, et cette intensité étant elle-même variable suivant le travail demandé au moteur, on évite l'obligation de changer constamment la position des balais en rendant l'angle de calage très petit, soit par une construction judicieuse du moteur, soit par des dispositifs de correction.

L'invariabilité pratique du plan de calage des balais d'un électromoteur est chose importante, celui-ci étant soumis dans la plupart de ses applications à un régime essentiellement variable. De plus, le sens de la rotation devant être souvent changé, si l'angle de calage n'était pas pratiquement nul, il faudrait déplacer les balais à chaque interversion ainsi que nous le verrons plus loin.

Ceci posé, une dynamo à courant continu pouvant être employée comme génératrice ou comme réceptrice, il est intéressant

de rechercher le sens du mouvement que prend l'induit de la même machine, dans les deux cas, sous l'influence du même courant extérieur.

On peut vérifier par le raisonnement et l'expérience que le sens est inverse pour les moteurs excités en série; que le sens est le même pour les moteurs en dérivation; et que dans les moteurs compound, le sens ne peut pas être détèrminé *a priori;* il dépend de l'enroulement dont l'action est prédominante.

Les dynamos à courant continu étant classées, suivant le mode d'excitation de leurs inducteurs, en machines-série, machines en dérivation ou shunt-dynamos et machines compound, il y a lieu de déterminer les moyens de changer le sens de leur rotation lorsqu'on les emploie comme électromoteurs.

Les circuits des électromoteurs en série et des électromoteurs en dérivation étant représentés schématiquement par les figures 12 et 13 dans lesquelles A est l'inducteur, *c* le collecteur, *bb'* les balais et *dd'* les bornes d'entrée et de sortie du courant moteur, on voit, à la seule inspection de ces figures, que le changement de sens du courant moteur n'aura pas pour effet d'inverser le sens de la rotation du moteur. En effet, à cette inversion de courant correspond celle du champ magnétique de l'inducteur.

Pour changer le sens du mouvement, il faut donc inverser le courant circulant dans l'induit seulement ou dans les inducteurs seulement.

Dans les électromoteurs compound, le champ inducteur est produit par deux enroulements A (en série) et *a* (en dérivation) qui agissent en sens contraire *(fig. 14)*. Suivant que l'un ou l'autre aura une action prépondérante, la rotation s'effectuera dans un sens ou dans l'autre; on ne peut donc préjuger le sens du mouvement.

Valeur de l'intensité du courant dans l'armature.

Pour se rendre compte des précautions à prendre pour gouverner les électromoteurs, il est nécessaire de se rendre compte de la valeur de l'intensité i_a du courant qui traverse l'armature; nous allons l'évaluer en fonction de l'intensité I du courant qui est amené aux bornes et de la différence de potentiel E entre ces deux points d'entrée et de sortie.

Dans le cas d'un moteur en dérivation *(fig. 13)*, la différence de potentiel aux balais est égale à E diminuée de la force contre-élec-

Réglage de la vitesse. — Si on maintient constante la différence de potentiel aux bornes du moteur, la vitesse variera avec l'effort résistant et lorsque ce dernier sera très faible, la vitesse pourra devenir dangereuse. Pour maintenir une vitesse constante, il faut donc faire varier la différence de potentiel proportionnellement aux variations de l'effort résistant. Quand l'effort résistant diminuera, on introduira donc dans le circuit du moteur une résistance d'autant plus grande que l'effort résistant sera plus petit *(fig. 15)*. On pourra, de même, à l'aide d'une résistance variable, obtenir pour le même moment résistant opposé au moteur, différentes valeurs de la vitesse.

Inversion de marche. — Nous avons vu que, pour changer le sens de la rotation d'un électromoteur excité en série, il fallait changer le sens du courant soit dans l'armature, soit dans les inducteurs.

Dans les deux cas, si les balais ont un angle de calage, il sera nécessaire de changer leur position afin d'éviter leur rebroussement et de leur donner le calage qui correspond au nouveau sens de rotation. Mais on préfère inverser le courant dans l'armature, parce que, au moyen d'une seule manœuvre, on peut obtenir les deux effets. L'inverseur de marche est alors constitué par deux porte-balais BB′ qui peuvent tourner autour d'un axe, qui portent chacun les deux balais devant se remplacer, et communiquent par leurs pivots aux conducteurs amenant le courant *(fig. 16 et 17)*. Un levier, un ressort et deux galets permettent d'appliquer à volonté sur le collecteur l'une ou l'autre paire de balais.

Dans certains moteurs de construction appropriée, le calage des balais est nul. On emploie alors des balais en charbon situés dans un plan normal à celui des pôles inducteurs. L'inversion du sens de rotation se fait donc simplement en changeant le sens du courant dans l'armature par un inverseur bipolaire *(fig. 18)*, ou encore en renversant le courant dans les inducteurs seulement à l'aide d'un inverseur qui serait placé en A.

Arrêt. — Pour arrêter le moteur il faut interrompre le courant qui se trouve supprimé alors dans l'armature et dans les inducteurs à la fois. Si on désire un arrêt instantané, on applique au moteur un frein mécanique en même temps qu'on interrompt le courant.

2° Moteurs excités en dérivation.

Démarrage. — On intercale dans le circuit de l'armature un rhéostat dit de démarrage R, qui a pour but de diminuer l'intensité du courant lancé dans le moteur au repos, afin de l'empêcher de prendre une vitesse dangereuse *(fig. 19)*. Le rhéostat de démarrage se confond souvent avec le rhéostat d'excitation R′ *(fig. 20)*.

La mise en marche une fois obtenue, on agit graduellement sur la résistance jusqu'à ce que l'on ait atteint la vitesse de régime.

Réglage de la vitesse. — Les moteurs excités en dérivation, quand ils sont bien construits, n'éprouvent que de faibles variations de vitesse pour de grandes variations de l'effort résistant, bien que la tension du courant qui leur soit fourni reste constante. On peut régler la vitesse du moteur en agissant sur le rhéostat d'excitation *(fig. 20)*.

En diminuant la résistance de ce rhéostat, on diminue le moment moteur jusqu'à ce qu'il fasse équilibre au moment résistant.

Le moment résistant restant constant, on modifiera le régime de vitesse à l'aide de ce même rhéostat d'excitation *(fig. 20)*; pour augmenter la vitesse, on augmentera la résistance de ce rhéostat; pour diminuer la vitesse on diminuera cette résistance.

On peut arriver aux mêmes résultats en agissant sur le rhéostat de démarrage intercalé dans le circuit de l'armature *(fig. 19)*; on augmente alors le moment moteur et la vitesse en diminuant la résistance de ce rhéostat.

Inversion de marche. — On change le sens de la marche en inversant le courant dans l'armature et en modifiant en même temps le calage des balais *(fig. 21 et 22)* par un dispositif mécanique analogue à celui dont il a été question pour les moteurs excités en série.

Dans le cas où l'on emploie des balais en charbon avec un calage nul, le changement de marche se fait simplement par une inversion du courant soit dans l'inducteur seulement *(fig. 24)*, soit dans l'armature seulement *(fig. 23)*.

Arrêt. — L'arrêt d'un moteur excité en dérivation s'obtient en interrompant le courant soit dans l'armature seulement, soit dans les inducteurs, soit dans les deux à la fois *(fig. 19 et 20)*.

Si l'on veut obtenir un arrêt instantané, on maintiendra l'exci-

tation et on mettra l'armature en court-circuit *(fig. 19)*. Il se produira alors dans le moteur des courants d'induction très énergiques qui s'opposeront à son mouvement. Il suffira ensuite de couper le circuit d'excitation.

Remarque. — Les moteurs excités en dérivation recevant un courant de tension constante, n'éprouvent que de faibles variations de vitesse pour de grandes variations de l'effort résistant. Ils sont admirablement appropriés aux besoins de la petite industrie et aux usages domestiques.

3° Moteurs a excitation compound.

Si l'on veut conserver aux moteurs une vitesse absolument invariable, il suffit d'enrouler les inducteurs partie en dérivation et partie en série avec l'armature.

Le courant arrivant dans l'enroulement en série a pour effet d'affaiblir l'excitation ; l'action inductrice est différentielle et l'excitation diminue à mesure que l'intensité du courant moteur augmente.

Pour mettre le moteur en marche, il faut supprimer l'excitation en série *(fig. 25)* ou mieux encore renverser le sens du courant dans le fil en série *(fig. 26)* et ne rétablir le sens normal que lorsque le moteur a pris son allure régulière.

L'inversion du sens de la rotation s'obtiendra en renversant le courant soit dans le circuit principal, soit dans le circuit dérivé, avec ou sans manœuvre des balais comme l'indiquent les figures 21, 22, 23 et 24, relatives aux moteurs excités en dérivation.

L'arrêt sera obtenu par la manœuvre d'un interrupteur I branché dans le circuit dérivé *(fig. 25 et 26)* ou avant le moteur *(fig. 27)*.

Rendement des électromoteurs.

Le rendement d'un appareil se définit d'une manière générale par le rapport de la puissance utile qu'il restitue à celle qui lui est fournie.

Quand il s'agit de moteurs électriques, on distingue deux sortes de rendements, savoir :

Le *rendement électrique* ou rapport de la puissance *(p)* absorbée par la rotation du moteur à la puissance électrique totale (P) dépensée dans le moteur.

$$R_{\cdot} = \frac{p}{P}.$$

Le *rendement industriel* ou rapport de la puissance mécanique utile (p_u) développée par le moteur, à la puissance électrique totale dépensée (P).

$$R_i = \frac{p_u}{P}.$$

Il s'agit d'exprimer P, p et p_u en fonction des quantités connues :

I, intensité du courant amené aux bornes du moteur,
E, différence de potentiel aux bornes du moteur ;
e, force contre-électromotrice développée dans l'armature ;
i_a, intensité du courant qui circule dans l'armature.

Valeur de P. — On a d'abord : $P = EI$.

Valeur de p. — Pour calculer p, nous remarquerons que ce terme représente la puissance électrique absorbée par la rotation de l'armature, et est une partie seulement de la puissance totale fournie au moteur, l'autre partie étant absorbée par l'échauffement des conducteurs formant le moteur ; on a donc, en désignant par p_c, cette deuxième portion de la puissance totale :

(1) $P = p + p_c$, d'où : $p = P - p_c = EI - p_c$.

On peut facilement calculer p_c en fonction de la résistance des parties constitutives du moteur et de l'intensité du courant qui les parcourt.

Nous désignerons, pour chacun des moteurs considérés suivant leur mode d'excitation, par :

r_a, la résistance de l'armature ;
i_a, l'intensité du courant qui la traverse ;
r_s, la résistance de l'inducteur en série ;
i_s, l'intensité du courant qui le parcourt ;
r_d, la résistance de l'inducteur en dérivation ;
i_d, l'intensité du courant qui le parcourt.

Et nous aurons :

1° *Moteur excité en série.* — L'intensité qui circule dans le moteur de la borne d'entrée d à la borne de sortie d' est I (*fig. 28*).
La résistance est $r_a + r_s$.
Donc, d'après la loi de Joule (1), on a :

$$p_c = (r_a + r_s)\, I^2.$$

(1) La loi de Joule s'énonce comme suit : La quantité de chaleur développée dans un conducteur parcouru par un courant est proportionnelle au temps, à la résistance du conducteur et au carré de l'intensité du courant.

La différence de potentiel aux bornes *d* et *d'* est E ; la force contre-électromotrice développée dans l'armature est *e*; donc, en appliquant la loi d'Ohm, on a :

$$r_a + r_s = \frac{E - e}{I}.$$

Et par suite :

$$p_c = \frac{E - e}{I} \times I^2 = EI - eI.$$

2° *Moteur excité en dérivation.* — L'intensité I se divise, en *d*, en deux : l'une i_a passant dans l'armature, l'autre i_d passant dans l'inducteur, et redevient égale à I au point *d'* du circuit (*fig. 29*).

On a donc : $p_c = r_a i_a^2 + r_d i_d^2$.

D'autre part :

L'inducteur est parcouru par la force électromotrice E, puisqu'il est en dérivation, donc, d'après la loi d'Ohm :

$$r_d = \frac{E}{i_d}.$$

L'armature est parcourue par la force électromotrice E — *e*,

donc : $$r_a = \frac{E - e}{i_a},$$

par suite :

$$p_c = \frac{E - e}{i_a} i_a^2 + \frac{E}{i_d} i_d^2 = Ei_a + Ei_d - ei_a$$

et comme $$i_a + i_d = I :$$

$$p_c = EI - ei_a.$$

3° *Moteur compound.* — L'inducteur en série est parcouru par l'intensité totale I. L'inducteur en dérivation par l'intensité i_d et l'armature par l'intensité i_a (*fig. 30*). (La somme $i_d + i_a$ est égale à I.)

On a donc :

$$p_c = r_a i_a^2 + r_d i_d^2 + r_s I^2.$$

Dans le cas du moteur excité en compound, il faut considérer la différence de potentiel entre les balais, c'est-à-dire aux extrémités de l'armature, qui est inférieure à celle qui existe entre les bornes *d* et *d'*, puisque l'inducteur en série crée une résistance dans le circuit. Si on appelle E' cette différence de potentiel, le circuit inducteur en série sera parcouru par la force électromotrice E — E' et on aura : $r_s = \frac{E - E'}{I}$. Le circuit inducteur en

dérivation est parcouru par la force électromotrice E′, on a donc : $r_d = \frac{E'}{i_d}$. Enfin, l'armature est parcourue par une force électromotrice $E' - e$ et on a : $r_a = \frac{E' - e}{i_a}$.

Donc :

$$\begin{aligned} p_e &= (E' - e)i_a + E'i_d + (E - E')I. \\ &= (i_a + i_d)E' + EI - E'I - ei_a. \\ &= IE' + EI - IE' - ei_a = EI - ei_a. \end{aligned}$$

La formule $p_e = EI - ei_a$ est donc générale, en observant que dans le cas du moteur excité en série $i_a = I$.

Si on remplace p_e par la valeur que nous venons de calculer dans la formule :

$$p = EI - p_e \qquad (1)$$

établie plus haut, il vient :

$$p = EI - EI + ei_a = ei_a.$$

La puissance absorbée par la rotation du moteur peut être exprimée en kilogrammètres en divisant le produit ei_a par $g = 9{,}81$.

Valeur de p_u. — La puissance mécanique utile développée sur l'arbre du moteur p_u est égale à p diminuée :

Des pertes par frottement qui augmentent avec la vitesse de rotation ;

Des pertes de diverses natures dues aux réactions électriques qui se manifestent dans l'intérieur du moteur quand il est en mouvement (courants de Foucault, hystérésis, etc.), qui se traduisent par un échauffement des diverses parties de ce moteur. Si on appelle p_f l'ensemble des pertes mécaniques et électriques en question, on aura :

$$p_u = p - p_f = ei_a - p_f.$$

Dès lors on aura :

Rendement électrique : $\frac{p}{P} = \frac{ei_a}{EI} \cdot = \frac{p}{p + p_e}$

et dans le cas particulier du moteur excité en série :

$$\frac{p}{P} = \frac{eI}{EI} = \frac{e}{E}.$$

RENDEMENT INDUSTRIEL : $\frac{p_u}{P} = \frac{ei_a - p_f}{EI}$

(et dans le cas du moteur excité en série : $\frac{p_u}{P} = \frac{e}{E} - \frac{p_f}{EI}$).

Le rendement industriel peut s'exprimer également par la formule :

$$R_i = \frac{p - p_f}{p + p_e}$$

qui montre que ce rendement est toujours inférieur au rendement électrique, par suite des pertes mécaniques dues aux frottements et des effets parasites des courants.

Valeurs pratiques du rendement industriel.

Pratiquement, le rendement industriel des électromoteurs, le seul qui intéresse celui qui les emploie, se maintient dans les limites suivantes, lorsque les moteurs fonctionnent à pleine charge.

Puissance du moteur.	Rendement.
—	—
De 1 à 10 *ch*.	70 0/0.
De 10 à 20 —	73 à 75 —
De 20 à 50 —	81 —
De 100 —	85 —

Les rendements des moteurs sont généralement inférieurs de 5 0/0 à ceux des dynamos génératrices de même puissance.

Variation du rendement avec la vitesse et la charge.

Le rendement d'un moteur électrique dépend, ainsi que nous venons de l'établir, de la vitesse et de la puissance électrique qu'il doit fournir; mais il importe de remarquer que dans les bonnes machines, des variations assez notables de ces deux éléments ne modifient pas sensiblement le rendement.

C'est une qualité essentielle des moteurs électriques, et on peut se rendre compte de l'importance de ces variations de rendement en consultant le tableau suivant qui donne le résultat d'essais faits sur un moteur excité en série, construit pour donner 8 *ch* à une vitesse de 680 tours par minute, avec une différence de potentiel aux bornes (E) de 400 volts.

Ce tableau montre que la force contre-électromotrice *e* augmente avec la vitesse, tandis que l'intensité diminue ; que lorsqu'on a atteint la vitesse normale de 680 tours correspondant au rendement maximum, une augmentation de près de 40 0/0 de cette vitesse normale ne fait baisser le rendement industriel que de 4 0/0, mais que ce rendement diminue alors rapidement dès que la vitesse dépasse une certaine limite.

VITESSE — TOURS par minute	E Volts	I Ampères	e Volts	PUISSANCE ABSORBÉE		PUISSANCE UTILISABLE		RENDEMENTS	
				Watts	Chevaux	Watts	Chevaux	Électrique	Industriel
0	400	108,5	0	43 400	58,96	0	0	»	»
110	401	88	75,4	35 288	47,94	2 870	3,9	0,19	0,08
310	399	64,5	161,4	25 735	34,96	7 360	10,0	0,40	0,29
520	400	40	252	16 000	21,74	8 096	11,0	0,63	0,51
680	400	22	316,8	8 800	11,95	5 888	8,0	0,79	0,67
950	399	12	354,6	4 788	6,50	3 018	4,1	0,89	0,63
1 230	402	9	368,3	3 618	4,91	1 472	2,0	0,91	0,46

Voici encore les variations de rendement, suivant la charge, d'un moteur de 3 *ch*, dont la vitesse normale est de 1 800 tours, lorsque ce moteur fonctionne sous un courant de 80 volts à une vitesse de 950 à 1 000 tours.

Charges en kilogrammètres. . .	15,3	39,3	92	154
Rendements 0/0	39	58	62	68

Ainsi à 1/15 de charge, le rendement n'est que de 39 0/0, mais à 1/5 de charge, il atteint déjà 58 0/0, à 1/2 charge 62 0/0, à 3/4 de charge 68 0/0.

Moment de rotation.

Il peut être utile de calculer le moment de rotation T d'un électromoteur, c'est-à-dire le moment par rapport à l'axe de rotation de la force tangentielle d'entrainement F en un point de l'arbre du moteur ou de la circonférence d'une poulie montée sur cet arbre.

Désignant par r le rayon de l'arbre ou de la poulie, on a : $T = F . r$.

Le travail accompli par la force F pendant une révolution de l'arbre est de $2\pi r . F$.

Si l'arbre fait n tours par seconde, le travail accompli par seconde, ou puissance mécanique du moteur désignée plus haut par p, a pour expression :

$$p = 2\pi rn \,.\, F = 2\pi n T.$$

Mais $p = ei_a$, donc $T = \frac{ei_a}{2\pi n}$,

ou en kilogrammètres :

$$T = \frac{ei_a}{2\pi n \times 9{,}81}.$$

On exprime généralement la vitesse en nombre de tours par minute, soit N ce nombre de tours ; on a alors :

$$T = \frac{60 ei_a}{2\pi N \times 9{,}81} = \frac{30 ei_a}{\pi N \,.\times 9{,}81},$$

d'où : $F = \frac{T}{r} = \frac{30 ei_a}{9{,}81 \,.\, \pi \,.\, r \,.\, N}$ (en kilogrammètres).

Pour obtenir la valeur de l'effort réellement utilisable, il faudrait, bien entendu, retrancher de la valeur de F, l'effort résistant parasite dû aux pertes par frottements, courants de Foucault, hystérésis. C'est cette valeur de l'effort utilisable qui fait équilibre à la *charge*.

Considérations sur le choix à faire des électromoteurs série, en dérivation, ou compound.

Voyons dans quels cas on peut admettre l'emploi de moteurs excités en série, et dans quels cas on devra les rejeter pour choisir de préférence des moteurs excités en dérivation ou des moteurs compound.

Il suffit pour cela de résumer les avantages et les inconvénients de chacun des modes d'enroulement. Nous rappelons ci-après les indications générales sur les difficultés de mise en marche et de réglage.

Dans chaque cas, nous considérons trois hypothèses :

1° La différence de potentiel est maintenue constante aux bornes mêmes du moteur ;

2° La différence de potentiel est maintenue constante aux barres d'un tableau relié au moteur par une ligne de résistance appréciable ;

3° L'intensité est maintenue constante (cas du montage en série).

Moteurs-série.

Premier cas. — L'intensité est maximum au démarrage ; d'où la nécessité d'un *rhéostat* qu'on intercale à la mise en marche dans le circuit intérieur du moteur. Mais, par cela même, l'effort possible est maximum et permet un coup de collier ; le moteur démarre toujours, même sous la charge maximum.

Pendant une période où l'effort à faire reste constant, on change le régime de la vitesse, c'est-à-dire qu'on l'augmente ou qu'on la diminue en supprimant ou en intercalant une partie du rhéostat.

Si l'effort varie, l'intensité du courant varie aussitôt en sens inverse, mais bien plus rapidement, surtout à faible charge.

C'est là le grand inconvénient des moteurs-série, et c'est aux charges les plus basses qu'ils sont le moins stables.

Pour un abaissement brusque et important de l'effort, la vitesse prend des valeurs extrêmes, le moteur s'emballe. C'est ce qui arrive lorsque la charge est brusquement supprimée par accident, le bris d'une chaîne, par exemple ; on intercale alors le rhéostat aussi vite que possible.

La stabilité d'équilibre est d'autant plus grande que la résistance intérieure du moteur est plus faible et la charge plus élevée.

La puissance absorbée est maximum au démarrage. La puissance utile est maximum quand l'intensité est un peu plus faible que la moitié de l'intensité de démarrage.

Les moteurs bien construits ont un rendement peu variable, mais cependant passant par un maximum pour une vitesse un peu supérieure à la précédente.

Deuxième cas. — Dans l'industrie, un cas plus général est celui de moteurs alimentés par une génératrice qui maintient le potentiel constant à un tableau de distribution relié aux moteurs par une ligne de résistance non négligeable.

Cette ligne crée une perte de charge variable avec l'intensité.

Les conclusions précédentes subsistent, mais le moteur est encore moins stable ; on est ramené au cas précédent, pour un moteur ayant ses bornes au tableau, c'est-à-dire ayant une grande résistance intérieure.

On comprend qu'alors le même rhéostat agira moins efficacement, et son action sera d'autant plus faible que les fils de ligne seront plus fins.

Troisième cas. — L'intensité étant constante, le moteur ne démarre que sous charge réduite.

Aux faibles charges, les vitesses sont toujours dangereuses. Le réglage est impossible.

Conclusions. — Les moteurs-série pourront être employés :

1° Quand l'outil à actionner doit produire un effort constant et démarrer sous forte charge.

(Un rhéostat permettra divers régimes de vitesse, mais dans un rapport faible);

2° Quand l'effort à faire varie peu et qu'on peut admettre sans inconvénient les écarts correspondants de la vitesse (relativement faibles aux environs de l'effort maximum) ;

3° Quand les variations de la vitesse n'ont pas d'importance et que la charge minimum reste assez élevée pour éviter un emballement dangereux.

Le moteur fonctionnera normalement sans rhéostat, celui-ci ne servant qu'à diminuer la vitesse, sous une charge donnée, mais approximativement.

Le prix d'achat est inférieur à celui des moteurs-shunt.

Moteurs-shunt.

Premier cas. — L'intensité dans le circuit excitateur est constante. L'intensité dans l'induit est maximum si le moteur est calé, d'où la nécessité d'un *rhéostat de démarrage*, mais dans l'induit *seul.* (Nous verrons pourquoi plus loin.)

La stabilité d'équilibre est grande à toutes charges, c'est-à-dire que l'équilibre s'établit toujours et rapidement, surtout si la résistance de l'induit du moteur est faible et si la réaction d'induit est grande.

La vitesse peut être alors pratiquement constante ; le moteur est autorégulateur de la vitesse ; de même que les génératrices, dans les mêmes conditions, sont autorégulatrices de la différence de potentiel à leurs bornes, à une vitesse constante.

A charge nulle la vitesse n'est pas excessive.

La vitesse est à peu près indépendante de la différence de potentiel aux bornes.

Un rhéostat extérieur agirait donc peu.

Mais on peut régler la machine en agissant soit sur l'intensité

du courant inducteur par un rhéostat d'excitation, soit sur le courant induit seul.

Ce rhéostat permet divers régimes de marche, c'est-à-dire une série de valeurs de la vitesse restant constante sous les différentes charges.

C'est l'avantage des moteurs-shunt.

La puissance absorbée est maximum si le moteur est calé. Elle est minimum à charge nulle.

La puissance utile est maximum quand l'intensité a une valeur un peu plus élevée que la moitié de l'intensité de calage.

Le rendement industriel maximum est atteint, en général, pour une intensité un peu moindre que la moitié de l'intensité de calage.

Deuxième cas. — La stabilité d'équilibre est moindre que dans le premier cas, c'est-à-dire que la vitesse varie un peu plus.

Si la ligne a une résistance bien supérieure à celle du moteur, l'équilibre est instable au départ.

Le moteur calé, le démarrage ne peut s'effectuer que sous charge réduite.

Si on met en marche sous une charge faible, le moteur atteindra de suite la vitesse de régime ; on pourra alors augmenter la charge bien au delà de la charge de démarrage, la vitesse se maintenant à peu près constante ; mais il arrivera une surcharge pour laquelle il y aura arrêt très rapide.

Donc, la stabilité est faible quand l'effort produit est près de son maximum, et presque nulle aux faibles vitesses. Pour le réglage, le rhéostat dans l'induit est préférable.

Il faut, dans tous les cas, éviter un rhéostat extérieur peu efficace et qui augmente la résistance de la ligne : constituer celle-ci en fils aussi gros que possible, et maintenir la différence de potentiel constante aussi près qu'on le peut des bornes du moteur.

Il sera bon de relier les extrémités du circuit inducteur aux points mêmes où le potentiel est constant.

Troisième cas. — Le courant dans l'induit restera modéré.

Mais, à cause de cela même, le courant dans l'inducteur restera faible.

Le moteur ne démarrera que sous des charges très faibles.

On augmente cette charge de démarrage en introduisant dans l'induit un rhéostat, qu'on supprime en marche.

On risquera toujours un arrêt aux environs de la charge maximum, et on rencontrera des difficultés d'emploi si la charge varie beaucoup.

Conclusions. — Donc, les moteurs-shunt seront à choisir, malgré leur prix plus élevé, dans toutes les applications où il est nécessaire que la vitesse varie peu, quoique l'effort à produire varie beaucoup.

S'il faut une vitesse pratiquement constante, on maintiendra la différence de potentiel constante aux bornes mêmes du moteur, qu'on choisira bien étudié. Il existe deux moyens de réglage :

Un rhéostat dans l'induit, qui permet surtout le démarrage facile;

Un rhéostat d'excitation, qui donne facilement divers régimes de marche, bien déterminés.

En cas de surcharge, on risque l'arrêt brusque, comme on l'a vu plus haut.

Moteurs compound.

On corrige les défauts des moteurs-shunt par quelques spires en série.

Si les deux excitations sont de même sens, on démarre sous charge plus grande.

Deux excitations de sens inverse permettent d'avoir une vitesse invariable aux différentes charges.

On obtient les deux résultats en supprimant ou même en inversant, à la mise en marche, le courant dans l'enroulement en série.

On place alors le rhéostat de démarrage entre la source et le moteur.

Les moteurs compound sont préférables quand il est très important d'avoir une vitesse absolument constante. On maintiendra constante la différence de potentiel entre leurs bornes mêmes.

Distribution de l'énergie électrique à des électromoteurs.

Quand les types de moteurs ont été choisis suivant les applications auxquelles ils sont destinés, il y a à se préoccuper du mode de distribution, et, le cas échéant, du mode de groupement des génératrices.

Les quelques indications qui suivent se rapportent à ces deux parties du problème

MODES DE DISTRIBUTION.

Les conditions générales sont celles d'une installation d'éclairage électrique.

Les électromoteurs sont :

Ou tous en tension sur un seul circuit;

Ou tous en dérivation entre deux points reliés à la source;

Ou répartis sur plusieurs dérivations partant du même centre de distribution.

Distribution en tension (fig. 31 et 32). — L'intensité est la même pour tous les moteurs;

Ceux-ci doivent donc être de même puissance.

Les moteurs ne sont indépendants que si l'intensité reste constante, quelle que soit la charge.

Les moteurs-série ainsi montés sont très instables; on ne peut pas régler leur vitesse.

Les moteurs-shunt sont très instables aux faibles vitesses; la mise en marche est délicate, le réglage n'est possible que si les inducteurs sont saturés.

Ce mode de groupement n'est bon que pour un régime peu variable.

Distribution en dérivation (fig. 33 et 34). — Les électromoteurs ne sont indépendants que si la différence de potentiel au centre de distribution est maintenue constante, sous toutes charges.

Il est avantageux de prendre ce centre le plus près possible des moteurs et d'y relier directement les inducteurs pour les moteurs-shunt *(fig. 34 et 35).*

On peut alors relier l'induit au centre par des fils plus fins, d'où une économie compensatrice.

Des moteurs dont les travaux résistants varient ensemble peuvent être sans inconvénients montés en dérivation sur le même branchement secondaire *(fig. 33, 34 et 35).*

Mais la vitesse d'un des moteurs, se modifiant, fait varier celle des autres moteurs en sens inverse; d'autant moins cependant que le circuit commun est en fil plus gros.

Distribution mixte (fig. 33 et 34). — Les moteurs en tension sur une même dérivation restent dépendants l'un de l'autre; la vitesse de l'un variant fait varier celle des autres en sens inverse et fortement. Les moteurs tendent à se dérégler.

Les diverses grandeurs qui entreront dans le calcul sont les suivantes :

	Génératrice.	Réceptrice.
Intensité du courant aux bornes de la dynamo	i ampères	i ampères
Force électromotrice de la dynamo.	E volts	e volts
Différence de potentiel aux bornes de la dynamo	D volts	d volts
Résistance (induit et inducteurs) .	R ohms	r ohms
Puissance mécanique employée . .	P watts	p watts
Puissance absorbée pour la rotation.	P_f watts	p_f watts
Puissance absorbée par l'échauffement.	P_c watts	p_c watts
Puissance électrique totale développée par la génératrice	P_t watts	»
Puissance mécanique totale développée par la réceptrice.	»	p_t watts
Puissance électrique utile développée.	P_u watts	p_u watts
Rapport de la puissance électrique totale développée à la puissance mécanique absorbée	$\frac{P_t}{P} = K.$	

Considérons d'abord le cas où les deux dynamos sont reliées par un conducteur de résistance nulle, et calculons la puissance électrique utile p_u développée par la réceptrice.

1° *Génératrice.* — On connait la puissance mécanique P watts fournie à la génératrice, la force électromotrice E volts adoptée pour le transport d'énergie, et le coefficient K, déduit des rendements (voir ci-après).

On peut donc calculer P_t et i par les formules :

$$P_t = KP; \qquad (1)$$

$$i = \frac{P_t}{E}. \qquad (2)$$

Le rendement électrique d'une dynamo génératrice est $\frac{P_u}{P_t}$, et le rendement industriel $\frac{P_u}{P}$. Ce dernier est garanti par le constructeur et, par suite, connu.

On peut écrire :

$$\frac{P_u}{P} = \frac{P_u}{P_t} \times \frac{P_t}{P} = \frac{P_u}{P_t} \times K.$$

Comme, dans les bonnes machines, le rendement électrique varie de 0,92 à 0,96, et le rendement industriel de 0,85 à 0,90, on voit que le coefficient K varie de 0,85 : 0,92 = 0,92 à 0,90 : 0,96 = 0,94.

Si on ne connaît pas le rendement électrique on peut prendre pour K la valeur 0,92.

D'où on déduit, à l'aide des deux formules précédentes (1) et (2), les valeurs de P_t et de i.

On a ensuite :

$$D = E - iR. \qquad (3)$$

(La résistance intérieure R de la dynamo est indiquée par le constructeur pour chaque machine livrée.)

$$P_f = P - P_t; \qquad (4)$$

$$P_e = Ri^2; \qquad (5)$$

$$P_u = P_t - P_e. \qquad (6)$$

C'est cette puissance P_u qui est absorbée par la réceptrice, quand cette dernière est reliée à la génératrice par un conducteur de résistance nulle; donc, dans ce cas particulier, on a :

$$P_u = p.$$

2° *Réceptrice.* — On peut déterminer comme suit les divers éléments de la réceptrice, en remarquant que i est constant et que $r = R$, puisque nous avons supposé que les deux dynamos étaient identiques :

$$e = D - iR; \qquad (7)$$

$$p_e = Ri^2; \qquad (8)$$

$$p_t = p - p_e = P_u - p_e; \qquad (9)$$

$$p_u = p_t - p_f. \qquad (10)$$

p_f est inconnu, mais on peut le calculer en remarquant que les puissances absorbées par la rotation des deux machines (P_f et p_f) sont proportionnelles aux vitesses ou aux forces électromotrices E et e.

Génératrice :

$$P_c = Ri^2 = 1{,}391 \times \overline{51}^2 = 3\,619 \text{ watts};$$
$$P_t = P_u + P_c = 102\,000 + 3\,619 = 105\,619 \text{ watts};$$
$$P = P_t + P_f = 105\,619 + 3\,823 = 109\,442 \text{ watts};$$
$$K = \frac{P_t}{P} = \frac{105\,619}{109\,442} = 0{,}965;$$
$$E = D + iR = 2000 + (51 \times 1{,}391) = 2071 \text{ volts.}$$

Réceptrice. — (Pertes au cas d'une ligne de résistance nulle) :

$$e = D - iR = 2\,000 - (51 \times 1{,}391) = 1\,929 \text{ volts};$$
$$p = P_u = 102\,000 \text{ watts};$$
$$p_c = Ri^2 = P_c = 3\,619 \text{ watts};$$
$$p_t = p - p_c = 102\,000 - 3\,619 = 98\,381 \text{ watts};$$
$$p_f = P_f . \frac{e}{E} = \frac{3\,823 \text{ watts} \times 1\,929}{2\,071} = 3\,560 \text{ watts.}$$
$$p_u = p_t - p_f = 98\,381 - 3\,560 = 94.821 \text{ watts.}$$

Ligne. — On doit recueillir 0,50 de la puissance absorbée, soit :

$$0{,}50 \times 109{,}442 = 54{,}720 \text{ watts.}$$

Perte possible en ligne : 94.821 — 54.720 = 40.101 watts

Résistance électrique de la ligne :

$$r = \frac{\varepsilon}{i^2} = \frac{40{,}101}{\overline{51}^2} = 15{,}41 \text{ ohms,}$$

ce qui permet de calculer la section des conducteurs, connaissant leur longueur $2l$ (l étant la distance des deux machines).

Réceptrice. — (Pertes au cas d'une ligne de résistance $r = 15{,}41$ ohms).

$$e = D - ir - iR = 2000 - (51 \times 15{,}41) - (51 \times 1{,}391) = 1143{,}15 \text{ volts.}$$
$$d = D - ir = 2\,000 - (51 \times 15{,}41) = 1\,214{,}09 \text{ volts};$$
$$p = P_u - ri^2 = 102\,000 - (\overline{51}^2 \times 15{,}41) = 61\,919 \text{ watts};$$
$$p_c = Ri^2 = P_c = 3\,619 \text{ watts};$$

$p_t = p - p_c = 61\,919 - 3619 = 58\,300$ watts.

$p_f = P_f \cdot \frac{e}{E} = \frac{3\,823 \times 1\,143,15}{2\,071} = 2\,110$ watts

$p_u = p_t - p_f = 58\,301 - 2\,110 = \mathbf{56\,191}$ watts

Rendement électrique : $\frac{p_t}{P_t} = \frac{58\,300}{105\,619} = 0,552$

Rendement industriel : $\frac{p_u}{P} = \frac{56\,191}{109\,442} = 0,513$

(au lieu des 0,50 prévus, parce que la puissance absorbée par les effets parasites de la réceptrice a été réduite dans le rapport des forces électromotrices).

Dans l'exemple qui précède, les rendements industriels de la génératrice, de la réceptrice et de la ligne sont les suivants :

Génératrice $\begin{cases} P = 109.441 \\ P_u = 102.000 \end{cases}$ $R_g = \frac{P_u}{P} = \frac{102\,000}{109\,441} = 0.932$

Ligne $\begin{cases} \text{Puissance au départ : } 102\,000 \text{ watts} \\ \quad — \text{ à l'arrivée : } 61\,919 \quad — \end{cases}$ $R_l = \frac{61\,919}{102\,000} = 0,607$

Réceptrice $\begin{cases} p = 61\,919 \\ p_u = 56\,191 \end{cases}$ $R_r = \frac{56\,191}{61\,919} = 0,907$

Le rendement final est égal au produit de ces trois rendements, soit :

$$0,932 \times 0,607 \times 0,907 = 0,513.$$

Calcul de la ligne. — On a déterminé plus haut la résistance r à donner aux conducteurs en se fixant le rendement industriel total.

On connait la distance l en kilomètres des deux machines; la longueur totale du conducteur (aller et retour) est donc $2l$, et la section S (en millimètres carrés) du fil est donnée par la formule :

$$r = \frac{10 \times 2l \times 1,86}{S} \quad \text{d'où} \quad S = \frac{10 \times 2l \times 1,86}{r}$$

dans laquelle 1,86 est la résistance spécifique (en microhms-centimètres) du bronze à 20° centigrades.

Appliquant cette formule pour des distances l de $2\frac{1}{2}$, 5, 10 *km*, en conservant la résistance $r = 15,41$ ohms, qui, dans l'exemple

numérique précédent, correspond à un rendement industriel total de 0,513, on trouve les chiffres suivants :

DISTANCE l km	LONGUEUR du CONDUCTEUR $2l$ km	SECTION en S mm²	DIAMÈTRE d mm	POIDS DES CONDUCTEURS (Densité du bronze = 8,9)
2,5	5	6,035	2,8	0,0006035 × 50 000 × 8,9 = 268,55 kg
5	10	12,07	4,0	0,001207 × 100 000 × 8,9 = 1 074,23
10	20	24,14	5,6	0,002414 × 200 000 × 8,9 = 4 296,92

Ces chiffres montrent l'influence considérable de la longueur de la ligne sur le total des dépenses de premier établissement pour un rendement déterminé à l'avance.

En effet, les dynamos pouvant être évaluées à 200 *f* par kilowatt de puissance, leur prix est de :

$$109,441\ kw \times 200\ f \times 2 = 43\ 776\ f.$$

Et, dès lors, le prix total du matériel : dynamos et conducteurs, est le suivant, en comptant le bronze à 2 *f* le kilogramme.

DISTANCES	DYNAMOS	LIGNE	TOTAL
Distance de 2,5 km	43 776 f	537 f	44 313
Id. 5	43 776	2 148	45 924
Id. 10	43 776	8 594	52 370

Le problème peut se poser sous une autre forme :

Connaissant :

La puissance à transmettre P,

La distance du transport l kilomètres,

Le potentiel adopté D volts,

Calculer la puissance p_u qu'on pourra récupérer, avec une ligne de section minimum correspondant à une densité de courant de 6 ampères, par exemple, par millimètre carré.

On détermine successivement les pertes :

Dans la génératrice,

Dans la ligne,

Dans la réceptrice.

Prenons l'exemple numérique suivant :

On a au départ $P = 150$ *chx*.

La réceptrice est à $l = 5$ *km* de la force disponible.

On adopte le potentiel $D = 2000$ volts, et une densité de courant de $\frac{I}{S} = 6$ ampères dans la ligne.

Les machines adoptées sont des Thury, type HDT, dont les données, indiquées par le constructeur, sont :

$i = 51$ ampères;

$D = 2000$ volts aux bornes;

$P_u = 102\,000$ watts;

$R = 1,391$ ohm;

$P_f = 3\,823$ watts.

On déduit comme précédemment :

Génératrice :

$P_c = Ri^2 = 1.391 \times \overline{51}^2 = 3619$ watts

$P_t = P_u + P_c = 102\,000 + 3619 = 105\,619$ watts

$P = P_t + P_f = 105\,619 + 3823 = 109\,442$ —

$K = \frac{P_t}{P} = \frac{105\,619}{109\,442} = 0.965$

$E = D + iR = 2\,000 + (51 \times 1.391) = 2\,071$ volts.

Ligne :

Section du conducteur : $\frac{51^2}{6} = 8,50\ mm^2$.

Diamètre correspondant en pratique : $3.3\ mm$.

Section du conducteur de $3,3\ mm$ de diamètre: $8,553\ mm^2$.

Longueur (aller et retour) $= 2 \times 5\ km = 10\ km$.

Résistance $r = \frac{10 \times 2l \times 1,86}{S} = \frac{10 \times 10 \times 1,86}{8,553} = 21,75$ ohms.

Perte de charge $= rI = 51 \times 21,75 = 1109,25$ volts.

Perte de puissance $= r\overline{I}^2 = \overline{51}^2 \times 21,75 = 56\,572$ watts.

Réceptrice :

$d = D - ir = 2\,000 - (51 \times 21,75) = 890,75$ volts ;
$e = d - iR = 890,75 - (51 \times 1,392) = 819,80$ volts;
$p = P_u - ri^2 = 102\,000 - 56\,572 = 45.428$ watts;
$p_c = Ri^2 = P_c = 3\,619$ watts;
$p_t = p - p_c = 45\,428 - 3619 = 41\,809$ watts;

$$p_f = \frac{P_f \times e}{E} = 3\,823 \times \frac{819,80}{2071} = 1\,513 \text{ watts;}$$

$p_u = p_t - p_f = 41\,809 - 1\,513 = 40\,296$ watts;

Ou en chevaux : $\frac{40\,296}{736} = 55$ *chx* en nombre rond.

On a ainsi les rendements industriels suivants :

Génératrice	P = 109442 watts P_u = 102000 —	$R_g = \frac{102000}{109442} = 0,932$;
Ligne	P transmise = 102000 watts P rendue = 45428 —	$R_l = \frac{45428}{102000} = 0,445$;
Réceptrice	p = 45428 watts p_u = 40296 —	$R_r = \frac{40296}{45428} = 0.887$.

Le rendement industriel total est :

$$R_t = R_g \times R_l \times R_r = 0,932 \times 0,445 \times 0,887 = 0,368.$$

Le coût de premier établissement sera de :

2 dynamos de 109,442 kilowatts à 200 *f* le kilowatt =	43 776 *f*
Conducteurs (100.000 × 0,0008553 × 8,9 *k*) × 2 *f* =	761 *f*
SOIT AU TOTAL.	44 537 *f*

On voit que si une ligne de faible diamètre coûte relativement peu, elle absorbe en revanche une forte portion de la puissance transmise, et on comprend qu'au delà de certaines limites, l'économie réalisée sur le prix d'achat puisse ne pas compenser la perte d'énergie due à des fils trop fins.

Différents modes de transmission.

Examinons maintenant les conditions dans lesquelles on peut réaliser une transmission électrique d'atelier.

Deux cas sont à considérer suivant que la force motrice de l'a-

telier est engendrée à une certaine distance ou dans une partie de l'usine dont dépend cet atelier.

Dans le premier cas, on a recours à un transport de force : les génératrices mues par les moteurs envoient un courant qui, à l'usine, met en mouvement des électromoteurs. On connait l'intensité et la force électromotrice fournie à ces moteurs, ce sont l'intensité du courant engendré par les génératrices et leur force électromotrice diminuée de la perte due au transport.

Dans le deuxième cas, on peut disposer de la totalité du courant produit par les génératrices puisque, leur distance aux moteurs étant peu considérable, on peut donner aux conducteurs une section suffisante pour diminuer la perte autant qu'on le désire; c'est une distribution simple.

Dans les deux cas, on dispose, pour actionner les machines-outils, d'un courant dont nous désignerons l'intensité par I et la force électromotrice par E. On peut le faire de deux façons :

1° Partager l'atelier en plusieurs groupes comprenant chacun un certain nombre de machines-outils, dépendant d'un arbre de groupe, lequel est mû par un moteur électrique *(fig. 37)*.

On peut pousser cette subdivision aussi loin qu'on le désire et grouper ainsi des machines destinées à travailler pendant les mêmes périodes de temps, ce qui permet d'arriver à la meilleure utilisation possible des moteurs de groupe.

On évite ainsi les pertes résultant de la transmission d'un moteur général à chacun des arbres de groupes et la perte de travail souvent importante résultant de la rotation à vide des arbres de groupes pendant les intervalles de temps où les outils qu'ils commandent restent inactifs. Mais, par contre, on est toujours obligé de conserver un attirail important d'arbres intermédiaires, de courroies et de débrayages.

2° Supprimer toute transmission intermédiaire et amener par de simples conducteurs le courant à chacune des machines-outils qui reçoivent leur mouvement d'un moteur spécial directement ou par une courte transmission suivant que la vitesse de travail de l'outil est peu différente de celle du moteur ou qu'elle doit, au contraire, en différer dans des limites assez étendues *(fig. 38)*.

Dans le premier cas, on est évidemment conduit à l'emploi de moteurs plus puissants que dans le deuxième cas, et, par suite, d'un meilleur rendement; d'autre part, le prix d'achat d'un nombre très restreint de moteurs sera inférieur à celui d'un nombre assez grand de petits moteurs, à puissance totale égale.

Donc, au point de vue de la dépense de premier établissement, il pourra se faire que les moteurs de groupes et les transmissions mécaniques qu'ils nécessitent ne soient pas plus coûteux et même quelquefois soient moins coûteux que la totalité des moteurs spéciaux à chaque outil. Et, au point de vue de la dépense d'exploitation, il peut également se faire que la première solution soit aussi avantageuse que la deuxième. Cela dépend, en effet, essentiellement des dispositions qui auront été prises et des conditions de travail de l'usine. Mais, en tout état de causes, il est certain que l'emploi de moteurs séparés permet de supprimer une quantité d'arbres et de courroies qui encombrent les ateliers, obligent à construire des bâtiments assez solides pour les supports de ces arbres, nécessitent des emplacements de forme géométrique régulière et enfin rendent, sinon impossibles, du moins très coûteux des remaniements des plans primitifs, ou des agrandissements et adjonctions d'outillage.

Ce sont là des avantages assez précieux pour légitimer l'adoption de la transmission électrique par moteurs individuels, même dans les cas où l'installation première serait un peu plus coûteuse, d'autant plus que cette augmentation ne dépasse généralement pas les 10 0/0 de la dépense de premier établissement d'une transmission purement mécanique, ainsi que nous le verrons plus loin.

Étude comparative des rendements des transmissions électriques par moteurs de groupes et par moteurs individuels.

Pour permettre de se livrer aux études comparatives qui doivent fixer le choix de l'industriel sur l'adoption d'une transmission purement mécanique ou d'une transmission électrique par groupes ou par moteurs individuels, abstraction faite de la question de commodité, il est utile de se rendre compte des puissances perdues dans chaque cas. C'est ce que nous allons essayer de faire en nous appuyant sur les résultats de mesures exécutées en Allemagne par MM. Siemens et Halske, par M. Hartmann, et par nous-même dans de petits ateliers de mécanique.

Nous n'avons nullement l'intention de poser des règles générales, impossibles à fixer, puisque les pertes dans les transmissions varient dans des limites fort considérables, suivant la nature de ces transmissions, la perfection de leur exécution, etc., mais simplement d'indiquer la marche à suivre pour se livrer à l'exa-

men comparatif dont nous venons de parler et de montrer en même temps, à l'aide des chiffres que nous avons pu recueillir, que, dans bien des cas, l'avantage reste à la transmission électrique au point de vue du rendement final.

Transmission électrique par groupes d'un atelier important à grande utilisation.

Considérons le cas d'une usine occupant un grand nombre de machines-outils pour la petite mécanique et utilisant, par conséquent, une faible force chacune.

On a pu grouper ces outils en six ateliers d'après la nature du travail à effectuer, et chacun de ces ateliers reçoit sa force motrice d'un moteur électrique qui, dans ce cas, remplace un moteur à vapeur.

Ce moteur électrique conduit par une transmission mécanique toutes les machines-outils du groupe et cette transmission comprend *(fig. 39)* :

1 arbre principal avec deux accouplements de sûreté (4);

2 arbres intermédiaires (3);

42 arbres de débrayage (2) qui actionnent 42 outils (1).

C'est, comme on le voit, une transmission mécanique à trois degrés dont la figure 40 donne une coupe transversale.

Le tableau suivant résume les essais effectués aux différentes charges :

Différentes charges du moteur	Énergie fournie au moteur $P = \frac{EI}{736}$ ch	Puissance utile sur l'arbre du moteur en chevaux	Rendement 0/0 du moteur aux diverses allures
(a) Toutes les machines travaillant.	25,90	$P_a = 22,285$	86,1
(b) Les machines tournant à vide.	23,86	$P_b = 20,480$	85,9
(c) Les courroies I enlevées.	8,761	$P_c = 6,583$	75,1
(d) Les courroies II sur poulies folles.	7,667	$P_d = 5,526$	72,1
(e) Les courroies II enlevées	4,435	$P_e = 2,363$	53,3
(f) Les courroies III enlevées.	2,588	$P_f = 0,536$	20,7
(g) La courroie IV enlevée	2,047	» »	»

Les nombres P_a, P_b, P_c, etc., de la deuxième colonne du tableau indiquent chaque fois la puissance fournie par le moteur sur son arbre. En retranchant chacun de ces nombres du précédent, on

obtiendra, dans chaque cas, la puissance $P_a - P_b$, $P_b - P_c$, etc., absorbée par la partie enlevée de la transmission.

C'est ainsi qu'en partant des outils et en considérant les parties supprimées après chaque expérience, on obtient par soustraction les chiffres du tableau suivant, afférents aux pertes dans les diverses parties de la transmission pendant la marche à pleine charge.

Puissances absorbées en chevaux :

Par les 42 outils	$P_a - P_b =$	1,805
Par les 42 courroies I et les 42 arbres (1) . .	$P_b - P_c =$	13,897
Par les 42 arbres de débrayage (1)	$P_c - P_d =$	1,057
Par les 42 courroies II.	$P_d - P_e =$	3,163
Par les 42 courroies III et les arbres intermédiaires (3).	$P_e - P_f =$	1,827
Par la courroie IV et l'arbre principal (4) . .	$P_f =$	0,536
Par le moteur	$P - P_a =$	3,615
Total.		25,900

Pour chaque partie, la puissance absorbée retranchée de la puissance reçue P_r donne la puissance transmise P_t, et le rapport $\frac{P_t}{P_r}$ est le rendement R. Le tableau suivant donne le résultat de ce calcul pour chaque partie de la transmission.

DÉSIGNATION des PARTIES DE LA TRANSMISSION	PUISSANCE		PUISSANCE ABSORBÉE p				Rendement 0/0 R.
	Reçue P_r (chevaux)	Transmise P_t (chevaux)	en chevaux	EN 0/0 DE LA PUISSANCE			
				totale	utile	reçue	
Moteur	25,900	22,285	3,615	14	»	»	»
Une courroie I	22,285	»	0,536	2,1	2,4	2,4	97,6
Un arbre principal (4).	»	21,749					
Deux courroies III.	21,749	»	1,827	7,0	8,2	8,4	91,6
Deux arbres intermédiaires (3).	»	19,922					
42 courroies II	19,922	16,759	3,163	12,2	14,2	15,9	84,1
42 arbres de débrayage (2). . .	16,759	15,702	1,057	4,0	4,7	6,2	93,8
42 courroies I.	15,702	»	13,897	53,7	62,4	88,5	11,5
42 arbres d'outils (1)	»	1,805					
42 outils	1,805	»	1,805	7,0	8,1	100,0	»

Nous avons inscrit sur le croquis schématique de la transmission les résultats afférents à chacune de ses parties *(fig. 40)*.

Le rendement total de la transmission est de :

$$0,976 \times 0,916 \times 0,841 \times 0,938 = 0,706$$

De l'arbre de débrayage à l'outil, le rendement est de 0,115. C'est un rendement très faible, qui paraît devoir être attribué à des courroies mal tendues ou à un non-parallélisme des arbres des outils et des débrayages qu'il est difficile d'établir dans un même plan, les uns étant fixés au plafond, et les autres au plancher. Cet inconvénient se présente chaque fois qu'un grand nombre d'outils sont conduits par un même arbre et il est toujours à craindre que le mauvais rendement de quelques transmissions n'influe sur le rendement global.

Transmission pour un atelier de petite mécanique a très faible utilisation

Examinons maintenant le cas d'une transmission dans un atelier de petite mécanique dont le moteur est une machine à gaz d'une puissance de 4 *ch*.

Ce moteur, dont l'arbre est en 1, conduit un arbre principal 3, lequel actionne des renvois à contrepoids qui commandent par cordes ou courroies les arbres de dix machines-outils *(fig. 41)*.

On a fait une série d'essais pour se rendre compte des dépenses d'énergie dues aux différentes parties de l'installation, savoir :

a) Moteur.
b) Transmission principale (courroie III, arbre 3, courroies II).
c) Commande des outils (arbres 2, courroies I, arbres des outils).
d) Outils, en pleine charge.
e) Outils, en travail normal.

On a mesuré la consommation de gaz dans les diverses circonstances de la marche et on a trouvé :

Consommation moyenne de gaz par heure.

a) Le moteur marchant seul. . . . . 1 190 *l*
b) Le moteur entraînant la transmission principale (jusqu'aux renvois) 1 927

c) Le moteur entrainant la transmission totale (outils tournant à vide) 3 021

d) Le moteur marchant à pleine charge (tous les outils travaillant). 3 500

e) En travail normal 2 141

Il est facile de calculer la dépense de gaz par cheval-heure de travail total et par cheval-heure utile, sachant que le moteur a, à pleine charge, un rendement de 80 0/0 environ. Dans ce cas, la puissance développée sur la poulie est de 4 *ch*, et la puissance développée sur le piston est de $4 : 0{,}80 = 5$ *ch*.

Comme la dépense de gaz est de 3 500 *l*, on a :

Consommation par cheval-heure de travail total : $3\,500 : 5 = 700$ *l*
— — utile : $3\,500 : 4 = 875$

Et en admettant que le rendement du moteur tombe à 50 0/0 au tiers de la pleine charge, on peut dresser le tableau suivant :

CONSOMMATION DE GAZ par heure N *l*	PUISSANCE TOTALE N : 700	PUISSANCE ABSORBÉE par le moteur P	PUISSANCE UTILE P_u	RENDEMENT du MOTEUR A GAZ R
(*a*) 1 190 *l*	1,70 *ch*	1,70 *ch*	0 *ch*	0
(*b*) 1 927	2,75	1,50	1,25	0,45
(*c*) 3 021	4,31	1,25	3,06	0,71
(*d*) 3 500	5	1	4	0,80
(*e*) 2 142	3,06	1,40	1,66	0,54

Par différence, on obtient les chiffres suivants de répartition des pertes pendant la marche à pleine charge :

PARTIES DE LA TRANSMISSION	PUISSANCE reçue P_r	PUISSANCE absorbée *p*	PUISSANCE transmise P_t	RENDEMENT	PUISSANCE ABSORBÉE EN FONCTION DE LA puissance totale	PUISSANCE ABSORBÉE EN FONCTION DE LA puissance utile	PUISSANCE ABSORBÉE EN FONCTION DE LA puissance reçue
Moteur	5	1	4	0,80	0,20	»	0,20
Transmission (courroie III, arbre 3 et courroies II)	4	1,25	2,75	0,69	0,25	0,31	0,31
Commande des outils (arbre 2, courroies I, arbres des outils).	2,75	1,81	0,94	0,34	0,36	0,45	0,66
Outils à pleine charge	0,94	0,94	0	0	0,19	0,24	100,00

En temps normal, on fournit aux arbres de débrayage :

$$1{,}66 - 1{,}25 = 0{,}41\ ch,$$

ce qui représente un travail disponible aux outils de :

$$0{,}41 \times 0{,}34 = 0{,}14\ ch = 0{,}14 \times 75 = 10{,}5\ kgm.$$

On conclut des chiffres qui précèdent que, dans le cas examiné, la transmission à deux degrés a un rendement de 0,69, les commandes individuelles des outils ont un rendement moyen de 0,34.

A pleine charge, il reste disponible aux outils 0,24 de la puissance utile.

Mais le rendement moyen, évalué pour une période d'une année, est bien inférieur à 0,24 à cause de la faible utilisation.

L'utilisation est de $0{,}14 : 0{,}94 = 1/7$ environ.

Le rendement moyen de l'année s'abaisse à $0{,}27 \times 1/7 = 0{,}035$.

Transmission d'un outil par l'intermédiaire d'un arbre de débrayage

Examinons maintenant le cas d'un tour commandé par l'intermédiaire de l'arbre de débrayage seul ; c'est un exemple de transmission à un degré *(fig. 42)*.

Les essais ont donné les résultats suivants :

Charges du moteur électrique	Puissance totale fournie au moteur en chevaux $P_t = \frac{EI}{736}$	Puissance utile sur l'arbre du moteur en chevaux P_u	Rendement du moteur aux diverses allures R 0/0
(*a*) Tour travaillant	3,502	2,851	81,4
(*b*) Tour marchant à vide	1,127	0,947	84,0
(*c*) Courroie I enlevée	0,261	0,177	68,0
(*d*) Courroie II enlevée	0,069	»	»

Les puissances utiles développées par le moteur étant désignées par P_a, P_b, P_c, P_d, leurs différences $(P_a - P_b)$, $(P_b - P_c)$... donnent les pertes.

Les pertes retranchées des puissances reçues donnent les puissances transmises.

Les rapports des puissances transmises aux puissances reçues donnent les rendements.

Les tableaux ci-dessous indiquent ces différentes valeurs pour la marche à pleine charge.

1° Répartition de la puissance absorbée, en chevaux.

Outil.	$P_a - P_b = 1,904$
Courroie I et arbre (1) du tour. . . .	$P_b - P_c = 0,770$
Courroie II et arbre (2) de débrayage. .	$P_c = 0,177$
Moteur à pleine charge.	$P_t - P_a = 0,651$
Total.	3,502

2° Rendements des diverses parties.

Différentes parties de la transmission	Puissance		Puissance absorbée				Rendement 0/0
	reçue P_r	transmise P_t	en chevaux P_a	en 0/0 de la puissance			
				totale	utile	reçue	
Moteur.	3,502 ch	2,851 ch	0,651	18,6	»	18,6	81,4
Courroie II.	2,851	»	0,177	5,0	6,2	6,2	93,8
Arbre de débrayage (2).	»	2,674					
Courroie I	2,674	»	0,770	22,0	27,0	29,0	71,3
Arbre du tour (1). . .	»	1,904					
Outil.	1,904	»	1,904	54,4	66,8	100,0	»
Total.			3,502	100,0	100,0		

Les résultats consignés dans le tableau précédent sont inscrits sur le croquis schématique de la transmission (*fig. 43*).

Sur la demande de M. Compère, le Congrès des Ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, tenu à Paris en 1893, jugea utile de demander à chacun de ses membres les résultats des essais faits par eux dans les usines, sur le travail absorbé par les transmissions. Ces résultats ont été recueillis, réunis en tableaux de même type et publiés dans le compte rendu du Congrès (1894). Ils constituent un document des plus utiles à consulter attendu qu'ils s'appliquent à un grand nombre d'installations les plus diverses.

Nous avons extrait de ces tableaux les renseignements afférents aux ateliers du genre de ceux qui étaient visés dans notre étude et nous avons classé ces renseignements par catégorie d'industries et par ordre décroissant de puissance motrice initiale. Comme les tableaux cités plus haut n'indiquent pas toujours la quote part de travail absorbé par la machine motrice, mais généralement la perte de travail totale, nous avons admis une perte de 10 0/0 en moyenne pour le moteur et nous avons pu ainsi calculer les limites de pertes dans les transmissions (chiffres contenus dans la 3e et 4e colonne du tableau ci-après).

Exemples de pertes de travail constatées dans certaines usines par l'usage des transmissions mécaniques.

(Chiffres extraits des tableaux réunis par MM. les Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur, sur la proposition de M. Compère et publiés dans le compte rendu du Congrès des Ingénieurs en chef tenu à Paris en 1893.)

NUMÉROS D'ORDRE	INDUSTRIES	TRAVAIL INDIQUÉ DE LA MACHINE	TRAVAIL ABSORBÉ PAR LES TRANSMISSIONS ET LA MACHINE	PERTE EN 0/0 DU TRAVAIL DE LA MACHINE	OBSERVATIONS — Limites des *pertes* dans les transmissions, en admettant une perte de 10 0/0 dans la machine.)
1	Location de force motrice . .	107,50	67 »	62,30	
2	Location de force motrice . .	72,28	55,18	76,30	
3	Location de force motrice . .	41,64	22,58	54 »	*Puissances* variant de :
4	Fabrique de serrurerie. . . .	54,61	16,22	29,70	107,5 *ch* à 7,82 *ch.*
5	Constructions mécaniques. .	33,81	9,63	28,50	
6	Constructions métalliques . .	27,50	19,82	72,20	*Pertes* dans les transmissions :
7	Constructions métalliques . .	23,40	12,15	53 »	
8	Atelier mécanique.	16,94	8,93	52,70	66 0/0 à 18,5 0/0.
9	Atelier de construction. . . .	9,20	3,10	33,70	
10	Petite mécanique	20,58	14,88	72,30	
11	Petite mécanique	7,82	5,18	66,20	
12	Fonderie et atelier mécanique.	113,16	76,91	68 »	*Puissances :*
13	Fonderie et atelier mécanique.	44 »	21,47	48,80	113 *ch* à 28 *ch.*
14	Fonderie	27,80	7 »	24,20	*Pertes :* 58 0/0 à 14 0/0.
15	Forges et laminoirs	292,50	112,60	38,50	*Puissances :*
16	Forge.	225 »	52 »	23,10	292,5 *ch* à 15 *ch.*
17	Forges et aciéries	106,20	49,50	46,50	*Pertes :*
18	Petite forge.	15 »	5,83	39	36,5 0/0 à 13 0/0.
19	Menuiserie	54,35	13,71	25,20	*Puissances :*
20	Menuiserie	35,44	10,80	30,30	70 *ch* à 26 ch.
21	Placages	27,86	8,20	29,50	
22	Placages	25 83	7,25	28,90	*Pertes :*
23	Parqueterie.	70,39	14,18	20 »	20 0/0 à 10 0/0.
24	Scierie mécanique.	83,50	36,32	43,50	
25	—	80 »	22 »	27,50	
26	—	72,20	56,70	78,50	*Puissances :*
27	—	46,39	10,17	21,90	83,5 *ch* à 21,5 *ch.*
28	—	41,70	16,95	40,60	
29	—	33,70	8,44	25 »	*Pertes :*
30	—	31,40	17 »	54 »	68,5 0/0 à 12 0/0.
31	—	26,30	8,65	33 »	
32	—	21,50	6,87	32 »	
33	—	21,50	4,88	22,70	

Nous constatons que dans les ateliers mécaniques la perte de travail due aux transmissions seules varie de 18,5 à 66 0/0, et que, dans les scieries mécaniques, cette perte est comprise entre 12 0/0 et 68,5 0/0. Ce sont des chiffres de même ordre que ceux que nous avons cités comme s'appliquant à des ateliers pourvus de transmissions nombreuses et compliquées.

On remarquera aussi que les pertes sont bien moins élevées dans les ateliers ou industries qui par leur nature ne comportent que l'emploi de transmissions à un ou deux degrés au plus.

Enfin, les chiffres suivants, donnés par M. Hartmann dans le Bulletin de l'*Union des Ingénieurs allemands*, en octobre 1892, pourront servir de guide dans une étude comparative.

Rendements obtenus pour :

Une transmission à deux degrés dans les ateliers Siemens et Halske, à Charlottembourg. . . . . Moyenne. 0,656
Une transmission à deux degrés, 0,52 à 0,71 — 0,644
Une transmission à trois degrés, 0,137 à 0,66 — 0,470

L'utilisation, c'est-à-dire le rapport de la durée du travail à la durée de la marche est très variable, mais facile à déterminer dans chaque cas.

Aux ateliers Siemens et Halske, l'utilisation est de 0,47 à 0,74 (moyenne 0,62), les rendements ci-dessus tombent alors :

Pour une transmission à deux degrés, à 0,40 ;
Pour une transmission à trois degrés, à 0,29.

Comparaison du système de transmission par groupes et par moteurs individuels.

Afin d'apprécier s'il est plus avantageux d'avoir recours au système de la transmission par groupes ou au système de la transmission individuelle, nous allons reprendre l'exemple cité plus haut d'un atelier comprenant des groupes de 42 outils dépendant d'un arbre principal conduit par un moteur.

Nous avons vu que, dans ce cas, le rapport du travail transmis à la courroie I au travail reçu par le moteur électrique était de (*fig. 44*) :

$$R = 0{,}861 \times 0{,}976 \times 0{,}916 \times 0{,}841 \times 0{,}938 = \mathbf{0{,}608}.$$

Quelle serait la valeur de ce rapport dans le cas de deux moteurs de groupe conduisant chacun, par courroie, l'un des arbres intermédiaires?

Il faudrait des moteurs de 12 *ch*.

On peut admettre :

Pour le rendement de ces moteurs 0,85
Pour le rendement du supplément de canalisation nécessaire entre l'entrée dans la salle et les moteurs. . . . 0,98

Le rapport cherché devient alors (*fig.* 45) :

$$R' = 0{,}98 \times 0{,}85 \times 0{,}916 \times 0{,}841 \times 0{,}938 = \mathbf{0{,}61}.$$

Si maintenant on montait des moteurs individuels à la place des arbres (2), il faudrait des moteurs d'environ 16 *ch* : 42 = 1/3 de cheval (*fig.* 46).

On peut admettre :

Pour le rendement d'un moteur de 1/3 *ch*. 0,70
Pour le rendement de supplément de canalisation nécessaire 0,95

Le rapport devient alors :

$$R'' = 0{,}95 \times 0{,}70 = \mathbf{0{,}655}.$$

Il y aurait donc avantage, même avec une utilisation complète (c'est-à-dire à travail continu), au point de vue du rendement, à placer des moteurs individuels au point (2).

De plus, ces moteurs, au lieu d'être fixés en (2), auraient pu être montés sur le bâti même de l'outil, qu'ils auraient commandé par courroie courte ou par un autre moyen. On aurait probablement augmenté ainsi le rapport très faible, 0,115, trouvé entre le travail transmis (16 *ch*) à la courroie I et le travail disponible 1,85 *ch*. (Voir *fig.* 40.)

Ce faible rendement semble devoir être attribué à des courroies mal tendues ou au non-parallélisme des arbres des outils et des débrayages, ainsi qu'il a été déjà expliqué. Des moteurs individuels placés près de l'arbre à conduire, avec des moyens plus efficaces de tendre les courroies, permettent un rendement meilleur.

Les essais relatés ci-dessus, sur un tour commandé par un moteur de 3 *ch*, avec arbre de renvoi fixe, montrent entre quelles limites les rendements peuvent varier

Si on admet comme rendement de la canalisation, du moteur à l'entrée des fils dans l'atelier, 0,90, le rapport cherché est égal à 0,90 × 0,814 × 0,938 = 0,687. On récupère en travail disponible sur l'arbre du tour 0,687 × 0,713 = 0,48.

En résumé, des moteurs de groupes remplaçant un moteur général évitent un degré de transmission en supprimant l'arbre principal *(fig. 47)*.

Des moteurs individuels remplaçant un moteur de groupe suppriment à leur tour un deuxième degré de transmission en rendant inutiles les arbres intermédiaires *(fig. 48)* et quelquefois le débrayage remplacé par les interrupteur et rhéostat *(fig. 49)*.

A chaque transformation, les moteurs de plus faible puissance ont, il est vrai, un rendement moindre, et les canalisations plus étendues absorbent plus d'énergie, mais les pertes de ce fait peuvent être plus faibles que celles dues au degré de transmission supprimé; ou bien ces pertes, plus importantes, peuvent être compensées par le travail inutilement dépensé pendant la marche à vide dans les deux premiers cas, et dont on n'a pas à tenir compte avec les moteurs individuels.

Il pourra même y avoir intérêt à substituer à une transmission mécanique commandée, dans un atelier isolé, par un moteur mécanique, l'ensemble génératrice, canalisation et moteurs individuels.

Ainsi une génératrice de rendement égal à 0,90, une canalisation d'un rendement de 0,90 et des moteurs individuels d'un rendement de 0,85 donneraient un rendement de 0,90 × 0,90 × 0,85 = 0,69, supérieur au rendement moyen d'une transmission mécanique à deux degrés, à utilisation complète, indiqué par M. Hartmann comme égal à 0,64.

Avec des moteurs de 1/4 *ch*, on peut admettre pour ces moteurs travaillant à charge élevée 0,70.

Si le rendement de la génératrice est de 0,90, celui de la canalisation 0,90 et celui du débrayage 0,90, l'ensemble donne, sur la courroie de commande de l'outil, un rendement de 0,70 × 0,90 × 0,90 × 0,90 = 0,51, qui est supérieur au rendement indiqué plus haut de 0,40, correspondant à l'utilisation moyenne de 0,62.

Il y a égalité pour une utilisation de 0,80.

Des moteurs de 1 *ch* ont un rendement de 0,75, et dans le cas de leur emploi, le rendement total s'élève à :

$$0,75 \times 0,90 \times 0,90 \times 0,90 = 0,55.$$

Il y a équivalence avec un moteur mécanique et une transmission double pour une utilisation de $\frac{0,55}{0,64} = 0,85$.

L'avantage des moteurs individuels, sensible pour une installation à transformer, sera plus grand encore s'il s'agit d'une installation à créer par le fait des économies réalisées sur la construction des bâtiments, qui pourront être plus légers, sur la réduction au minimum des piliers et soutiens, par la suppression des transmissions et de leurs supports.

Pour l'atelier comprenant 42 outils dont il a été question plus haut, la conduite de ces outils par des moteurs individuels aurait occasionné une augmentation de dépenses de 13 0/0; mais dans bien des cas, si on tient compte des économies réalisées d'autre part pour la construction de l'usine, on arrive à une majoration totale et définitive de 10 à 3 0/0 quand on adopte la conduite des outils par moteurs électriques individuels au lieu d'avoir recours aux transmissions mécaniques ou aux transmissions électriques avec groupement.

Différents systèmes de commande des machines-outils par les électromoteurs.

Le complément indispensable de l'étude que nous venons de faire sur les transmissions électriques d'ateliers de mécanique est l'indication des divers modes de commande des machines-outils dans le cas de l'emploi d'électromoteurs individuels.

Il y a le plus grand intérêt, ainsi qu'on l'a vu, à réaliser cette commande de manière à perdre le moins possible d'énergie en frottements, et comme la question du choix des organes de transmissions doit être liée à celle de la commodité de manœuvre de l'outil, on conçoit que, pour arriver à la combinaison la plus satisfaisante, il faut que l'étude soit faite par un Ingénieur réunissant la double qualité de mécanicien et d'électricien.

On est déjà arrivé à créer des types d'outils à commande électrique qui satisfont aux deux conditions ci-dessus énoncées, et à munir des outils existants d'une commande électrique sans grande transformation, ainsi que nous allons le montrer par quelques exemples.

La commande peut être directe ou indirecte, suivant la nature de l'outil. Dans le deuxième cas, on peut employer comme organes de transmission des engrenages, des vis sans fin, des cordes ou des courroies.

1° *Exemple de transmission directe.* — Les meules, les machines centrifuges, les outils à bois animés de grandes vitesses se prêtent bien à la commande directe. Aussi la figure 50 donne la vue d'une meule double pour la taille des fraises. L'armature du moteur est montée sur l'arbre qui porte les meules et les inducteurs sont fixés au bâti.

2° *Exemple de transmission par engrenages.* — Les figures 51 et 52 représentent une perceuse pour rails, dans laquelle le ralentissement est obtenu par deux paires de roues dentées. L'arbre porte-outil peut glisser longitudinalement au moyen d'un levier et d'une roue dentée agissant sur le coussinet à crémaillère. Pour que la pression n'augmente pas trop le frottement, le joint, à cet endroit, est à billes. L'appareil est transportable et le mécanisme est contenu dans un coffre qui sert de siège à l'ouvrier.

3° *Exemple de transmission par vis sans fin.* — Les figures 53 et 54 donnent la vue d'une raboteuse munie d'une transmission de ce genre. Le moteur électrique est à côté de la machine et porte sur le prolongement de son arbre une vis sans fin tournant dans un bain d'huile et communiquant son mouvement à la roue dentée de l'arbre principal. Le moteur tourne toujours dans le même sens et la machine embraye alternativement deux jeux d'engrenages différents, qui lui donnent une faible vitesse quand l'outil travaille, et une vitesse accélérée quand il revient à vide. De chaque côté de la machine se trouve un interrupteur, ce qui facilite les manœuvres de l'ouvrier.

4° *Exemple de transmission par corde.* — La figure 55 donne la vue d'un tour commandé par un électromoteur fixé sur le banc du tour. Cet électromoteur porte un cône qui actionne par corde le volant du tour. On pourrait aussi actionner directement par le moteur le cône du tour, mais la première disposition est préférable parce qu'elle permet de faire varier la vitesse dans de grandes limites. On s'arrange ordinairement pour que la pédale serve à l'interruption et fasse frein sur le volant, ce qui facilite le démarrage ; car, lorsque le frein est relâché, l'ouvrier n'a plus besoin de tirer sur la corde pour mettre en marche.

Dans les machines-outils américaines, on fait souvent usage de courroies très courtes.

5° *Exemple de transmission par courroies.* — La figure 56 représente une perceuse électrique avec transmission par courroies et

levier de commande manœuvré au pied, afin de laisser les deux mains libres à l'ouvrier pour le déplacement de la courroie sur les cônes.

On peut facilement adapter les dispositions qui précèdent à des outils existants; mais, comme nous le disions plus haut, il y aurait dans bien des cas avantage à étudier des outils en vue de leur manœuvre électrique, afin de réduire au minimum les pertes dans les transmissions.

La figure 57 donne un exemple d'outil de ce genre; c'est une perceuse radiale pour le travail du bois, dans laquelle l'armature du moteur est montée directement sur l'arbre porte-outil. Cet arbre peut glisser longitudinalement dans l'armature, dont il reçoit directement le mouvement de rotation. Les inducteurs sont fixés sur le bâti. Dans la machine en question, le moteur électrique a été rapproché le plus possible de l'outil et tous les organes d'entraînement ont disparu.

Comme le moteur électrique peut sans inconvénient être mobile, ce qui est un des avantages de son emploi, relativement à d'autres moteurs, on a pu le monter sur le coude de la machine dont il suit les mouvements.

III. — EXEMPLES DE TRANSPORTS ET DE TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES

Par une série d'exemples que nous avons choisis aussi variés que possible, nous allons montrer que l'électricité donne des solutions avantageuses et souvent élégantes de problèmes qui se posent fréquemment dans la pratique.

Application des moteurs électriques à la manœuvre des pompes.

Lorsqu'une usine possédant une force motrice a besoin d'installer une pompe à une certaine distance, elle a souvent avantage à l'actionner par un moteur électrique. Il en est de même toutes les fois qu'il serait impossible de disposer près de la pompe un moteur à vapeur, faute de place ou parce que l'appareil est dans un puits, par exemple.

Lorsqu'on fait usage de pompes rotatives, ce qui est le cas habituel, la commande par moteur électrique se fait directement.

Nous décrirons plus loin, en parlant des installations électriques réalisées par MM. de Dietrich dans leurs ateliers de Lunéville, comment on a avantageusement remplacé une machine à vapeur par un moteur électrique, qui actionne à l'aide d'une transmission intermédiaire une pompe à pistons plongeurs.

Une application intéressante est celle qui a été réalisée pour élever l'eau à 20 *m* à l'aide de deux pompes rotatives conjuguées situées à 2 *m* du plan d'eau, chacune de ces pompes ayant une puissance de refoulement de 10 *m* seulement.

Ces deux pompes centrifuges sont sur un même bâti et actionnées directement par un seul moteur électrique placé entre elles. La première aspire l'eau à élever de la manière ordinaire et la refoule dans le tuyau d'aspiration de la deuxième pompe, qui se trouve ainsi dans les mêmes conditions que si elle recevait l'eau en charge d'un réservoir placé à 10 *m*; cette deuxième pompe étant elle-même capable d'élever l'eau à 10 *m*, le refoulement total de 20 *m* est atteint.

Les deux pompes tournent à la même vitesse (1 330 tours) que le moteur qui fonctionne sous un potentiel aux bornes de 110 volts, à une intensité de 58 ampères. La puissance du moteur est de 58 ampères $\times$ 110 volts = 6 380 watts ou 8,66 *ch*. Le travail développé sur l'arbre est de 517 *kgm* ou 6,89 *ch*; en nombre rond 7 *ch*. Le rendement du moteur est donc de 80 0/0 environ.

On élève 10 *l* d'eau par seconde, soit 36 000 *l* par heure, en développant 6 380 watts. Si le prix du kilowatt est de 0,25 *f*, le mètre cube, en eau montée, coûte :

$$\frac{0{,}25\,f \times 6\,380 \times 1\,000}{1\,000 \times 36\,000} = 0{,}044\,f.$$

Application des moteurs électriques aux appareils de levage.

On construit depuis plusieurs années déjà des appareils de levage à manœuvre électrique; grues, treuils, ponts roulants, etc. C'est surtout dans les ateliers et dans les magasins que l'emploi de l'électricité comme force motrice présente des avantages, tant au point de vue du peu d'emplacement exigé par les appareils que par la sécurité qu'ils offrent en diminuant considérablement les chances d'incendie, et par la rapidité avec laquelle les manœuvres peuvent être effectuées.

Monte-sacs électriques. — Une installation intéressante a été faite par M. Guyenet et Cie, dans l'entrepôt du Pont-de-Flandre.

L'entrepôt possédait anciennement 29 monte-sacs, dont 21 étaient mus par l'eau sous pression et 8 par l'électricité. Les appareils hydrauliques présentant d'assez graves inconvénients dans un établissement où le mouvement atteint son maximum d'intensité pendant les mois les plus froids de l'année, on résolut d'installer 18 monte-charges électriques.

Chacun d'eux, actionné par une dynamo réceptrice, comprend :

1° Deux arbres intermédiaires, dans le prolongement l'un de l'autre, mais indépendants, et actionnés par la réceptrice au moyen d'une courroie droite ou d'une courroie croisée, et tournant, par conséquent, en sens contraire ;

2° Un tambour portant deux câbles, dont l'un s'enroule pendant que l'autre se déroule ;

3° Deux cordes de manœuvre placées sur toute la hauteur de la façade du bâtiment, l'une à la main droite, l'autre à la main gauche du câbleur ; celui-ci tire alternativement sur la corde de droite ou de gauche et obtient ainsi, et sans interruption, l'élévation d'un sac par le câble de droite ou par le câble de gauche.

Le courant est fourni aux 18 treuils nouveaux et aux 8 anciens par deux dynamos Brown, à courant continu, de 210 volts et 200 ampères, ainsi que par une ancienne dynamo Gramme de 210 volts et 100 ampères.

Ces dynamos, qui peuvent être accouplées en quantité, sont actionnées par une machine à vapeur à faible vitesse à l'aide d'une transmission intermédiaire et d'embrayages à friction.

Les dynamos réceptrices bipolaires de 200 volts et 40 ampères commandent par deux courroies, dont l'une croisée, les deux poulies motrices du treuil, qui tournent par conséquent en sens contraire. C'est par embrayage de l'une ou l'autre de ces poulies que l'on obtient le mouvement du tambour dans un sens ou dans l'autre. A cet effet, deux autres poulies, fixées sur les mêmes arbres que les poulies motrices, sont reliées à deux poulies, fixées sur l'arbre du tambour, par des courroies non tendues qui, en temps normal, ne communiquent pas le mouvement.

Il suffit, pour obtenir ce mouvement, d'exercer une pression normale à l'une des courroies, au milieu de la distance qui sépare les deux poulies, pression qui est obtenue au moyen d'un galet fixé à un levier mû par une des cordelettes à la portée du manœuvre.

Pendant qu'on se sert d'un treuil la dynamo tourne continuellement. On ne met donc le moteur en route qu'une fois, ce qui constitue un avantage assez sérieux, car le démarrage exige quelques précautions.

Afin d'obtenir une vitesse constante pour la montée et la descente des sacs, les dynamos réceptrices sont à enroulement shunt et exigent, par conséquent, qu'au démarrage l'excitation soit faite avant l'introduction du courant dans l'induit ; de même, à l'arrêt, le courant doit être coupé avant ou en même temps que celui des inducteurs.

Pour réaliser ces différentes conditions, la Société des Téléphones a construit des appareils qui opèrent à l'aide d'enclenchements et de mouvements à vis : au démarrage, la vis du rhéostat ne peut être tournée avant que l'interrupteur de l'induit ait été fermé, et cet interrupteur lui-même ne peut être fermé avant que celui de l'excitation l'ait été ; à l'arrêt, l'interrupteur de l'induit ne peut pas être ouvert avant que toute la résistance ait été intercalée dans le circuit.

Chaque treuil ainsi constitué élève le sac de sucre de 100 *kg* avec une vitesse de 2,50 *m* par seconde. On arrive ainsi à décharger un wagon de 100 sacs, au 3e étage, en quinze minutes. Avec les pertes de temps occasionnées par le déplacement des wagons, un homme peut, dans une journée de neuf heures, transborder 2 400 sacs.

Application des moteurs électriques à la manœuvre des grues.

Nous citerons deux exemples d'application des moteurs électriques à la manœuvre des grues.

Le premier nous est fourni par la maison Caillard frères, qui a installé au Havre une grue de 1 000 à 1 500 *kg* de force, ne différant d'une grue à vapeur ordinaire que par la substitution au moteur à vapeur d'un moteur électrique. Ce dernier est monté en arrière de l'arbre premier moteur, ainsi que le représente la figure 58, et la transmission de mouvement se fait par engrenages à chevrons taillés.

La dynamo qui ne tourne que dans un seul sens a une puissance de 10 *ch*.

Le deuxième exemple nous est fourni par la maison Guyenet et Cie, et s'applique à une grue mobile employée dans les Magasins généraux de Paris, pour l'arrimage des petits colis et particulièrement des sacs à sucre.

Cette grue a seulement 0,65 *m* de largeur, elle peut donc facilement circuler entre des piles de sacs, ainsi que le montre la figure 60, et elle dessert toute la hauteur du local sous plancher. Elle repose sur quatre roues pivotantes et peut être déplacée en ligne droite ou être changée de direction sous un angle quelconque.

L'appareil représenté par les figures 59 et 60 se compose essentiellement d'un bâti en tôle et cornières supportant un pylône ; ce bâti est assis sur quatre roues pivotantes. Une volée porte la charge, une autre porte le contrepoids qui assure la stabilité de la grue ; ces volées sont articulées par l'intermédiaire d'un levier unique, et elles peuvent être abaissées lorsque l'on déplace l'engin pour passer sous les poutres principales du plafond.

La dynamo réceptrice est située à l'une des extrémités du bâti ; la corde de levage est fixée au tambour : elle passe d'abord autour d'un galet placé sur le bâti, puis remonte par l'intérieur du pivot central sur les molettes de la flèche de charge.

La courroie de l'induit de la dynamo fait tourner un arbre intermédiaire qui transmet son mouvement par poulies et courroies à l'axe du tambour. Un mécanisme spécial élévatoire de leviers à contrepoids sert à donner à la courroie une tension suffisante. Ce mécanisme est actionné en tirant plus ou moins sur l'extrémité de la corde de manœuvre terminée par une poignée; c'est ainsi que l'on obtient la descente ou l'ascension du fardeau. En effet, quand on cesse de tirer cette corde, le frein à coin se serre automatiquement sous l'effet du contrepoids et la marche du fardeau est enrayée.

Voici quelques chiffres relatifs à cet appareil :

Charge levée	100 *kg*
Poids de l'engin.	1 000 *kg*
Nombre de tours de la dynamo réceptrice. . .	1 200
Travail fourni par la dynamo réceptrice. . . .	2 *ch*
Vitesse d'ascension par seconde.	1 *m*
Temps employé pour l'arrimage d'une pile de 100 sacs.	20 minutes
Nombre de manœuvres par minute	5

La grue portative que nous venons de décrire pourrait rendre d'importants services pour la manutention des marchandises dans les halles de transbordement des gares de chemins de fer.

Application des moteurs électriques aux ponts roulants.

On pourrait citer de très nombreuses applications des moteurs électriques à la manœuvre des ponts roulants; ces applications ayant fait l'objet de descriptions détaillées dans les revues techniques, nous traiterons surtout la question de principe.

La maison Caillard frères, du Havre, déjà citée, a installé en 1893, à Caudan près de Lorient, dans le parc à tôles, trois ponts roulants actionnés par une dynamo à renversement de marche, d'une force de 2 *ch* seulement, qui donne au fardeau une vitesse d'ascension de 1,60 *m* pour 2 000 *kg*, de 3,20 *m* pour 1 000 *kg* et à la translation une vitesse de 18 *m* par minute.

Les diverses manœuvres de translation, direction, levage ou virage sont faites à l'aide d'embrayages mécaniques.

Le système des embrayages mécaniques est généralement adopté dans le cas qui nous occupe, mais il présente de sérieux inconvénients; aussi avons-nous été amenés à examiner s'il ne serait pas possible d'affecter un moteur spécial pour chaque genre de manœuvre et de commander tous ces moteurs d'un poste fixe.

D'un autre côté, pour les ponts roulants destinés au levage et au transport de pièces très lourdes, il y a intérêt à doubler et même à tripler la vitesse à vide afin d'augmenter leur coefficient d'utilisation.

Le problème nous ayant été ainsi posé pour un pont roulant de 15 à 30 *t*, nous avons indiqué la disposition de principe représentée figure 61.

Le plan donne la disposition des quatre moteurs électriques affectés à chaque manœuvre et indique leur puissance en chevaux.

Ces moteurs à excitation shunt peuvent marcher dans les deux sens à différentes vitesses par le simple déplacement angulaire d'un levier.

Les quatre leviers correspondant à : translation, direction, levage ou virage, sont réunis sur un même tableau de distribution qui porte également les deux barres collectrices du courant et les appareils de sécurité et de contrôle.

Les deux barres collectrices sont reliées, d'une part, à la génératrice, d'autre part à cinq circuits dont quatre aboutissent aux induits des quatre moteurs, le cinquième leur étant commun et alimentant les enroulements inducteurs.

Entre la génératrice G et les barres collectrices B, le courant traverse un ampèremètre A, un interrupteur I et un coupe-circuit F.

L'interrupteur I a ses plots disposés de telle sorte que le courant est lancé d'abord dans les inducteurs, puis, à la fois dans les inducteurs et les induits lorsque la manette occupe la position : marche.

Un voltmètre V est en dérivation entre les points *a* et *b* par l'intermédiaire d'un bouton-poussoir *i'*. Le circuit commun aux inducteurs comporte un coupe-circuit *f'*.

Le circuit de chacun des induits est muni d'un coupe-circuit *f*, d'un commutateur-inverseur *c* et d'un ampèremètre *a*.

Le commutateur-inverseur porte l'indication de la manœuvre effectuée : translation, direction, levage ou virage. Il produit l'arrêt quand le levier est vertical; l'induit est alors mis en court-circuit à travers une résistance suffisante pour éviter une valeur dangereuse du courant. Cette mise en court-circuit forme frein et l'arrêt obtenu est presque instantané.

En déplaçant le levier à droite ou à gauche on relie les pôles du moteur aux barres B à travers tout le rhéostat de réglage, la moitié de ce rhéostat, ou directement. On obtient ainsi pour chaque sens de marche trois vitesses différentes dont la valeur en mètres par seconde est indiquée sur le dessin.

On peut calculer le rhéostat de réglage de façon à obtenir une vitesse deux ou trois fois plus grande à la troisième position du levier qu'à la première.

Les manœuvres à faire s'expliquent facilement :

Pour mettre en marche on place l'interrupteur I au cran *marche*, lorsque la génératrice tourne à sa vitesse normale. On vérifie la tension aux bornes B en poussant le bouton *i'* du voltmètre, et on agit sur le commutateur portant l'indication de la manœuvre que l'on veut faire.

On accélère le mouvement en poussant le levier vers sa position extrême; on le ralentit en ramenant le levier en arrière.

L'arrêt se produit brusquement lorsque le levier est mis dans la position verticale.

Lors d'un arrêt momentané des manœuvres du pont, il sera bon de ramener l'interrupteur I dans sa position verticale en ne maintenant ainsi que l'excitation des moteurs.

Pour un arrêt prolongé, on ramènera l'interrupteur I à la position *arrêt ;* on isolera ainsi complètement la génératrice.

Enfin, pour éviter tout accident, il sera nécessaire de placer à chaque fin de course un interrupteur automatique qui coupera le circuit d'excitation.

On peut se rendre compte, par cette description rapide, que les diverses manœuvres dans un pont roulant peuvent être faites par des moteurs électriques sans l'emploi des embrayages ; il existe d'ailleurs des appareils de levage conçus comme nous venons de l'expliquer. Reste à savoir si l'emploi de plusieurs moteurs et des organes de distribution qu'ils nécessitent n'entraîne pas à une dépense supérieure à celle qui résulterait de l'utilisation de transmissions mécaniques, et dans le cas de l'affirmative, si cette augmentation de prix serait suffisamment justifiée par la facilité des manœuvres. C'est ce que la pratique peut seule décider.

Transport de force électrique aux ateliers de MM. de Dietrich et Cie, à Lunéville.

Il s'agissait d'actionner par des moteurs électriques :

1° Les machines-outils d'une scierie, distante de 200 *m* de la dynamo génératrice ;

2° Une pompe de 5 chevaux, située au bord de la Meurthe, à une distance de 700 *m* de la salle des machines ;

3° Un ventilateur de 21 *ch*, placé à proximité de l'usine génératrice.

Le plan général *(fig. 62)* indique les positions relatives de la scierie, de la pompe et du ventilateur, ainsi que le tracé des fils conducteurs.

Dynamo génératrice. — La dynamo génératrice est du système H. Pieper, tétrapolaire, à induit genre Gramme, donnant normalement 53 125 watts, soit un débit de 425 ampères à la tension de 125 volts, avec une vitesse de 630 tours par minute.

La charge variant fréquemment dans de grandes limites (150 à 425 ampères), on a dû adopter pour la dynamo l'excitation compound qui maintient le voltage constant quel que soit le débit.

Cette dynamo est raccordée à un tableau de distribution portant comme appareils de mesure un ampèremètre et un voltmètre. Des deux barres collectrices partent trois circuits desservant la scierie, la pompe et le ventilateur.

Des plombs fusibles préservent les dynamos et les lignes de accidents qui pourraient se produire en cas de surcharges accidentelles. En outre, un parafoudre automatique protège la génératrice contre les décharges atmosphériques.

Circuit alimentant les moteurs électriques de la scierie. — Du tableau de distribution principal part un circuit aboutissant à un tableau de distribution secondaire placé dans la scierie, sur lequel sont branchés séparément les moteurs électriques de cet atelier *(fig. 63)*.

La scierie comprend trois moteurs de 10 à 12 *ch* chacun actionnant : l'un une grande scie circulaire ; le deuxième une scie alternative ; le troisième une scie à grumes.

Un quatrième moteur de la force de 12 à 15 *ch* met également en mouvement deux scies circulaires.

Toutes ces machines-outils sont attaquées directement par l'intermédiaire de courroies, à part les deux scies circulaires et la scie à grumes qui sont actionnées par une transmission intermédiaire. La mise en marche de tous ces moteurs électriques se fait par des rhéostats métalliques intercalés dans le circuit principal.

Circuit du ventilateur. — Le ventilateur qui fournit l'air sous pression à un très grand nombre de forges est actionné directement par un moteur d'une puissance de 22 *ch.*

Circuit alimentant le moteur électrique de la pompe. — La pompe se trouve située près de la rivière la Meurthe, à 700 *m* de distance de la salle des machines. Elle est actionnée par un moteur électrique de 5 *ch* effectifs ; l'attaque est faite par une transmission intermédiaire et par courroie.

Le rhéostat métallique servant à la mise en marche de ce moteur est placé dans la salle de la dynamo génératrice, ce qui présente le grand avantage de pouvoir arrêter et mettre en marche de l'usine, à proximité de laquelle se trouve le réservoir d'eau alimenté par la pompe.

Un ampèremètre intercalé dans le circuit principal et placé dans la salle de la dynamo génératrice permet de s'assurer à chaque instant que rien d'anormal ne se produit au moteur électrique.

Primitivement, cette pompe était conduite par une machine à vapeur de 7 *ch*, dont les deux pistons étaient en tandem avec les deux plongeurs.

La dépense annuelle résultant de cette installation s'élevait à 4 500 *f*, savoir :

Houille : 300 *kg* par jour, pendant 320 jours, à raison de 22,50 *f* la tonne, plus 2,50 *f* pour frais de transport de l'usine au bâtiment de la pompe, soit 25 *f* la tonne	2 400 *f*
Personnel	960
Entretien et graissage	1 140
TOTAL	4 500 *f*

Depuis que le transport de force a été mis en service, la dépense annuelle s'est abaissée à 570 *f*, savoir :

Houille : quote-part afférente à la fourniture du courant pour l'électromoteur de la pompe : 50 *kg* par jour, pendant 320 jours, à raison de 22,50 *f* la tonne, soit	360 *f*
Graissage : 0,50 *f* par jour pendant 320 jours	160
Entretien annuel	50
TOTAL	570 *f*

La machine à vapeur de 7 *ch* a été conservée pour parer à toute éventualité.

Le tableau ci-dessous donne pour chaque moteur sa puissance, son rendement pour cent, le nombre de watts à l'arrivée aux bornes, le nombre d'ampères, la perte en ligne (en volts), la perte d'énergie en ligne et la puissance à fournir par la génératrice.

—	PUISSANCE des MOTEURS en CHEVAUX	PUISSANCE des MOTEURS en WATTS	RENDEMENT 0/0 DES MOTEURS	NOMBRE DE WATTS AUX BORNES DES MOTEURS	INTENSITÉ AUX BORNES DES MOTEURS (ampères)	PERTE DE TENSION EN LIGNE (volts)	PERTE D'ÉNERGIE EN LIGNE	PUISSANCE A FOURNIR PAR LA GÉNÉRATRICE
Grande scie circulaire	10,5	7 728	86	9 000	75	5	375	9 375
Scie alternative	10,5	7 728	86	9 000	75	5	375	9 375
Scie à grumes	10,5	7 728	86	9 000	75	5	375	9 375
Scies circulaires	14,2	10 451	87	12 000	100	5	500	12 500
Moteur de la pompe	5,0	3 680	82	4 515	43	20	860	5 375
Moteur du ventilateur	22,0	16 192	88	18 300	150	3	450	18 750
TOTAUX	72,7	53 507	»	61 815	518	»	2 935	64 750

Le rendement de la dynamo génératrice étant de 90 0/0, il faudra lui fournir une puissance motrice de :

$$\frac{64\,750 \times 100}{90} = 71\,944 \text{ watts ou } 98\,ch.$$

La transmission intermédiaire absorbant 10 0/0, il faudra que le moteur ait une puissance effective de :

$$\frac{71\,944}{0,9} = 79\,940 \text{ watts ou } 108,6\,ch.$$

Le rendement total est de $\frac{53\,507}{79\,940} = 67$ 0/0.

Installation électrique des carrières d'Euville.

L'installation électrique réalisée à Euville *(fig. 64)* par la maison Sautter-Harlé pour l'exploitation des carrières de MM. Civet, Crouet, Gauthier et Cie, présente un grand intérêt en raison même des difficultés que présentait le problème et de l'économie qu'elle a procurée sur les systèmes précédemment appliqués.

On pratique des saignées verticales dans les bancs de pierre en exploitation à l'aide de trancheuses consistant essentiellement en un outil monté à l'extrémité inférieure d'une pièce coulissant verticalement entre deux glissières. Une manivelle permet d'imprimer à la pièce et à l'outil un mouvement alternatif de descente et de montée. L'outil peut recevoir, en outre, un mouvement d'avancement suivant son axe, par rapport à la pièce oscillante, de manière à suivre l'approfondissement de la taille qu'il exécute. La trancheuse et le moteur qui l'actionne sont portées par une plate-forme mobile.

Au début, les trancheuses étaient mues chacune par un petit moteur à vapeur alimenté par une chaudière spéciale. La consommation excessive de charbon, les avaries fréquentes causées par les chocs continus que supporte la machine firent renoncer à l'emploi de la vapeur et adopter l'air comprimé.

Un compresseur directement actionné par une machine à vapeur à consommation normale alimentait deux moteurs à air comprimé.

Déjà préférable à la précédente, cette solution présentait néanmoins des inconvénients sérieux. Il était nécessaire de produire constamment de l'air comprimé, malgré les arrêts des trancheuses, l'entretien du compresseur était très coûteux, les conduites d'air

gelaient parfois en hiver ; il fallait recourir à l'emploi de réchauffeurs à l'arrivée, l'entretien des trancheuses à air était onéreux, enfin le nombre de mètres superficiels effectués par une trancheuse était de 120 par mois.

L'installation électrique actuelle, qui fonctionne depuis 1892, comprend : à l'usine une dynamo génératrice unique, type Manchester, à enroulement compound avec collecteurs en acier et balais en charbon, et en différents points du chantier des électromoteurs remplaçant les anciens moteurs à air comprimé.

La dynamo génératrice, d'une puissance de 40 à 50 *ch*, donne 135 ampères et 240 volts à la vitesse de 760 tours par minute ; elle est actionnée par la machine à vapeur qui précédemment commandait le compresseur. Cette dynamo est reliée à un tableau de distribution d'où partent les deux circuits des trancheuses. Ces circuits, en fils de cuivre nu, portés par des isolateurs en porcelaine et des poteaux, aboutissent dans chacun des deux chantiers au point le plus central (*fig. 64*).

De ces points partent des conducteurs HC et DE qui sont placés parallèlement aux bancs en exploitation. C'est sur ces conducteurs que l'on vient brancher les dérivations qui aboutissent aux électromoteurs.

Les électromoteurs de 8 *ch*, au nombre de quatre, n'offrent rien de particulier ; ils sont à inducteurs simples avec balais en charbon et excitation en dérivation, de manière à obtenir une vitesse pratiquement constante, malgré les variations du travail à produire.

L'appareil de mise en marche, de réglage et d'arrêt, se compose d'une caisse en tôle perforée, contenant les résistances nécessaires pour la graduation du courant. Un volant commutateur fixé sur la caisse est à la disposition de l'ouvrier, qui peut ainsi régler la vitesse de son moteur à l'allure voulue. Les changements de marche des trancheurs se font à l'aide d'un embrayage à griffe. Il convient d'ajouter que la transmission du moteur à l'arbre qui porte l'outil se fait à l'aide d'une courroie.

Le rendement final de cette transmission d'énergie peut s'évaluer ainsi d'après les mesures faites sur les machines :

Rendement industriel de la génératrice . . .	88 0/0
— — de l'électromoteur. . .	80
— — de la ligne.	90

Rendement total : 0,88 × 0,80 × 0,90 = 63,36 0/0

Ce chiffre caractérise le rapport entre la puissance mécanique disponible sur l'arbre de l'électromoteur et la puissance mécanique fournie à la dynamo génératrice.

On aurait pu l'élever encore en diminuant la perte en ligne, en employant des électromoteurs plus encombrants et plus onéreux; mais il a paru préférable de diminuer légèrement le rendement pour obtenir certains avantages non moins importants de mobilité et de légèreté.

MM. Civet, Crouet, Gautier et Cie utilisent, en outre, un électromoteur de 6 *ch* pour actionner une pompe à pistons refoulant à une hauteur de 60 *m* l'eau nécessaire aux trancheuses, à la machine à vapeur du pont roulant d'une carrière et à la machine à vapeur conduisant les dynamos génératrices d'éclairage et de transmission de force. Cet électromoteur, situé à 200 *m* de l'usine génératrice, reçoit son courant d'une dynamo qui sert à l'éclairage et qui fonctionne au potentiel de 70 volts.

Après cet exposé sommaire, qui montre tout le parti qu'on peut tirer de l'emploi de l'électricité dans les chantiers à ciel ouvert, nous allons établir une comparaison au point de vue du coût de premier établissement et du prix de revient annuel, entre l'emploi de l'air comprimé et de l'électricité pour actionner deux trancheuses, une troisième trancheuse étant en réserve.

Dans les calculs qui suivent, nous n'avons pas fait entrer en ligne de compte toutes les dépenses communes aux deux systèmes (mécanicien, manœuvre, graissage, trancheuses, etc.).

1° Dépenses de premier établissement

La force motrice est produite par une machine à vapeur de 90 *ch*, alimentée par une chaudière de 100 m^2 de surface de chauffe.

La machine à vapeur a coûté	11 000 *f*
La chaudière, la tuyauterie, cheminée, etc.	12 000
Total.	23 000 *f*

Matériel de tranchage par l'air comprimé.

3 réchauffeurs	1 500 *f*	
Conduite en fer de 75 *mm* et coudes en cuivre	8 600	
Réservoir d'air	2 000	
Compresseur.	4 100	
Total.		16 200 *f*

Report.	16 200 *f*
Le compresseur absorbant 48 *ch* sur les 90 que produit la machine à vapeur, la quote-part afférente à la machine et à sa chaudière est d'environ $\frac{23\,000\,f}{2}$, soit	11 500 *f*
DÉPENSE TOTALE pour l'air comprimé . . .	27 700 *f*

soit en nombre rond : 28 000 *f*.

Matériel de tranchage par l'électricité.

940 *m* de conducteurs en fil de cuivre nu de 100 mm^2	2 800 *f*
380 — — 50	400
80 — — isolé de 25	500
Génératrice de 40 à 50 *ch* (33 000 watts).	4 800
3 réceptrices de 8 *ch* à 1 600 *f* l'une.	4 800
Transmissions des dynamos, rhéostats, tableau de distribution, etc..	2 200
TOTAL.	15 500 *f*
Les appareils électriques affectés aux trancheuses absorbant 16 *ch*, la quote-part afférente à la machine et à sa chaudière est donc de $\frac{16 \times 23\,000}{90} = 4\,090$. .	4 090 *f*
DÉPENSE TOTALE pour l'électricité. . .	19 590 *f*

soit en nombre rond : 20 000 *f*.

L'économie réalisée par l'emploi de l'électricité est de 8 000 *f*

2° DÉPENSES ANNUELLES.

La dépense journalière en charbon pour la machine à vapeur de 90 *ch* est de 2 000 $kg \times 0\,f\,025 = 50\,f$, soit pour une année de 330 jours de travail 16 500 *f*, ou par cheval annuel de 16 500 : 90 = 183 *f*.

Emploi de l'air comprimé.

Dépense annuelle en charbon : 183 $f \times 48$ *ch* = . .	8 784 *f*
Intérêt et amortissement à 10 0/0 du capital de premier établissement.	2 800
TOTAL.	11 584 *f*

Nombre de mètres superficiels faits par mois par deux trancheuses : $120 \times 2 = 240$.

Emploi de l'électricité.

Dépense annuelle en charbon : 183 *f* × 16 *ch* = . .	2 928 *f*
Intérêt et amortissement à 10 0/0 du capital de premier établissement.	2 000
Total.	4 928 *f*

L'économie annuelle réalisée par l'emploi de l'électricité est de 6 656 *f*.

En réalité, cette économie est plus élevée. En effet, par mesure directe on a trouvé qu'on économisait 900 *kg* de charbon par jour, soit :

900 *kg* × 330 *j* = 297 *t* par an, qui, à 25 *f* la tonne, représentent 7 425 *f*.

Si on y ajoute l'économie sur l'intérêt et l'amortissement (2 800 — 2 000 = 800) on trouve que l'économie totale annuelle en faveur de l'électricité est de 8 225 *f*.

Enfin, les deux trancheuses mues par l'électricité effectuent par mois 160 × 2 = 320 *m* superficiels, soit donc, au minimum, 80 *m* de plus que celles mues par l'air comprimé. Le mètre superficiel étant évalué à 6 *f*, il en résulte qu'on réalise encore un bénéfice annuel de 80 × 12 *m* × 6 *f* = 5 760 *f* qui, ajoutés aux 8 225 *f* calculés plus haut, donnent un total de 13 985 *f*.

En résumé, il ressort nettement des calculs ci-dessus :

1° Que l'économie de premier établissement résultant de l'emploi de l'électricité est de 8 000 *f*;

2° Que l'économie annuelle résultant également de ce mode de transmission est de 13 900 *f* par rapport à l'emploi de l'air comprimé.

Établissement vinicole de MM. Pech et Baudoin, à Abziza (province d'Alger).

L'installation de distribution de force par l'électricité faite en 1892 dans l'établissement vinicole de MM. Pech et Baudoin, à Abziza (province d'Alger), est intéressante, non par la difficulté vaincue ou la grandeur des résultats atteints, mais par sa nouveauté dans la région et la simplicité des solutions choisies.

Il s'agissait, en effet, de créer un matériel robuste, d'entretien,

et au besoin de réparations faciles, et pouvant être mis entre les mains du personnel arabe de l'établissement.

L'installation comprend sept électromoteurs d'une puissance de 2 à 10 *ch* effectifs, alimentés par une dynamo génératrice unique fournissant en même temps le courant pour l'éclairage.

L'un de ces électromoteurs actionne une grue-applique de 1 000 *kg*, servant au déchargement des grandes bennes de raisin amenées au fouloir ; trois autres, d'une puissance de 6 à 10 *ch*, actionnent les transmissions qui commandent les fouloirs et pressoirs, et les trois derniers sont accouplés directement à de petites pompes centrifuges en bronze étamé, servant à la circulation du moût dans les foudres.

Le travail des électromoteurs et, par suite, le travail absorbé par la génératrice sont extrêmement variables ; on pouvait donc craindre des variations de vitesse du moteur à vapeur, se traduisant par des variations brusques dans l'éclairage. Cette difficulté a été surmontée, d'une part, par l'enroulement compound de la dynamo génératrice, et, d'autre part, grâce à la perfection du réglage du moteur à vapeur installé par MM. Chaligny et Cie. Leur chaudière, type locomotive à grand volume d'eau, contribue aussi pour une large part à cette régularité de marche, des plus importantes quand il s'agit d'éclairage par incandescence.

La grue électrique destinée à monter les charges de raisin du rez-de-chaussée au deuxième étage avait été déterminée comme suit :

Charge maximum à lever	1 000 *kg*
Vitesse d'ascension, par seconde	0,27 *m*
Portée.	4,00 —
Course verticale du crochet	12,00 —

Mouvement de levage électrique; mouvement d'orientation à bras; commande des mouvements au pied de la grue.

L'appareil réalisé pour répondre à ce programme se compose d'une grue-applique à portée fixe, pouvant faire environ une demi-révolution autour de son axe, et fixée sur un support en charpente prenant lui-même son point d'appui sur un mur.

La grue est au deuxième étage; le treuil et les appareils de manœuvre, au rez-de-chaussée. La course maximum du crochet est de 12 *m* à partir du sol.

Le treuil est muni d'un frein automatique système Mégy, dit « à régulateur » ; le ressort plat circulaire garni de cuir, qui carac-

térise ce système, a sa libre expansion pendant la montée; il est solidaire de l'arbre moteur et entraine la charge par suite de son frottement contre les parois de la boite en fonte qui l'entoure et qui est solitaire de la charge. Pour la descente, il suffit de contracter le ressort de manière à annuler ce frottement; la charge descend, par son propre poids, à une vitesse limitée par un régulateur de vitesse à force centrifuge faisant partie du treuil : l'arbre moteur reste, dans ce cas, immobile.

Le moteur électrique, qui tourne toujours dans le même sens, commande le treuil par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue dentée.

Les appareils de manœuvre comprennent : un commutateur de mise en route progressive du moteur électrique pour la montée; un volant de desserrage du frein, pour la descente; une chainette pour l'orientation de la grue, commandant, par l'intermédiaire d'un volant, un pignon qui engrène avec une roue dentée calée sur le fût de la grue.

Les trois électromoteurs actionnant les fouloirs et les transmissions n'offrent rien de particulier; leur excitation en dérivation régularise leur vitesse et la rend pratiquement constante quel que soit le travail à produire. Chacun d'eux est accompagné d'un commutateur de mise en marche et arrêt progressifs.

Les trois pompes centrifuges utilisées pour la circulation du moût sont commandées par des électromoteurs également montés en dérivation, pour éviter l'emballement qui pourrait se produire en cas de désamorçage de la pompe.

L'ensemble, moteur et pompe, ainsi que le commutateur de manœuvre sont montés sur un petit chariot mobile pouvant se déplacer devant la rangée des foudres; les tuyaux souples d'aspiration et de refoulement de la pompe sont disposés pour s'adapter rapidement aux foudres. Le courant nécessaire est amené par un câble souple à deux conducteurs, qu'on branche au moyen d'une prise de courant mobile en un point quelconque des deux câbles de distribution en fil de cuivre nu qui traversent la halle des foudres.

Tout le matériel électrique de cette installation a été fourni par la maison Sautter Harlé et le montage a été exécuté sous l'active et habile direction de M. Baudoin, aidé d'un seul monteur électricien. Attaché à l'établissement, ce mécanicien suffit à l'entretien courant du matériel; toutes les manœuvres sont faites par le personnel arabe.

Exemple de transmission électrique d'atelier par groupes. — Transmissions de la manufacture d'armes d'Herstal, près Liège (Belgique)

Nous trouvons dans l'installation toute récente des transmissions de la Manufacture d'armes d'Herstal un exemple des plus intéressants et des plus complets d'une transmission électrique actionnant de nombreuses machines-outils réunies par groupes.

Cette manufacture occupe 22 000 m^2 de bâtiments couverts, chauffés à la vapeur et éclairés par l'électricité. En raison de la multiplicité des machines-outils et de la faible puissance que chacune d'elles exige, il eût été irrationnel de les commander directement par des moteurs électriques. Il était tout indiqué, au contraire, de les réunir par groupes, dépendant chacun d'un arbre de transmission intermédiaire.

Voici la désignation des divers ateliers, le nombre des arbres qu'ils contiennent, le nombre des moteurs électriques, leur puissance individuelle et totale, et le rendement garanti par le constructeur.

	NOMBRE		PUISSANCE		RENDEMENT
	D'ARBRES	DE MOTEURS	de chaque MOTEUR	TOTALE	GARANTI
Forges.	1	2	37 *ch*	74 *ch*	89 0/0
Atelier des bois.	1	1	21	21	87
Cartoucherie	1	1	21	21	87
Grand hall.	9	9	16	144	87
Atelier des manchons . .	1	1	16	16	87
Atelier de polissage. . .	1	1	16	16	87
Pompe.	1	1	10	10	85
Ventilateur.	1	1	3	3	80
Totaux. . . .	16	17		305	

Le rendement global des moteurs s'obtient en faisant la somme des produits de la puissance de chaque type de moteur par son rendement individuel, soit :

$$3 \times 0,80 + 10 \times 0,85 + 16 \times 0,87 + 21 \times 0,87 + 37 \times 0,89 = 76,02$$

et en divisant cette somme par le total des puissances, soit :

$$3 + 10 + 16 + 21 + 37 = 87,$$

ce qui donne : 0,8738.

On en déduit le travail à fournir aux moteurs :

$$305 : 0,8738 = 350,50\ ch.$$

La perte admise dans le réseau de distribution étant de 2 0/0 (ce qui correspond à un rendement de 98 0/0 pour ce réseau), et le rendement de la dynamo génératrice étant de 90 0/0, la puissance motrice nécessaire pour l'actionner est de :

$$\frac{350,50}{0,98 \times 0,90} = 397,4\ ch.$$

Quant au rendement total de la transmission, il est de :

$$0,8738 \times 0,98 \times 0,90 = 0,77069.$$

La dynamo génératrice présente cette particularité que son induit ou armature constitue le volant du moteur compound à condensation d'une puissance de 500 *ch*. Cette armature de 4,80 *m* de diamètre et 0,40 *m* de largeur, à enroulement Gramme, est munie de deux collecteurs de 2,50 *m* de diamètre sur lesquels appuient 80 balais métalliques de prise de courant, lesquels peuvent être relevés ou abaissés simultanément par un appareil spécial.

L'inducteur de cette dynamo-volant est constitué par une couronne ou bâti fixe armé de vingt électro-aimants dont les épanouissements polaires embrassent l'armature. L'excitation se fait en dérivation et la vitesse de rotation n'est que de 66 tours par minute.

Le courant de 2 440 ampères sous 125 volts de tension est conduit, par câbles souterrains, de la dynamo génératrice à un tableau de distribution et distribué de là par différentes lignes aux moteurs.

Ces derniers, disséminés dans l'usine et attaquant chacun un arbre de transmission principal qui donne le mouvement à des groupes de machines-outils, sont, comme on l'a vu plus haut, au nombre de 17. Ils sont tous du même type : à double circuit magnétique, avec armature genre Gramme et excités en dérivation.

Le rendement de la transmission proprement dite, c'est-à-dire le rapport du travail disponible sur les arbres de transmission mus par les réceptrices, au travail fourni à la dynamo génératrice est de 0,77 en nombre rond, comme il a été établi plus haut. Il

n'y a aucune perte de transmission entre la machine à vapeur et la dynamo génératrice qui constitue le volant du moteur.

Le rendement de la machine à vapeur a été garanti de 94 0/0. Enfin, en comptant une perte de 4 0/0 dans la transmission par courroie de l'arbre conduit par l'électromoteur à l'outil mis en mouvement par cet arbre, ce qui correspond à un rendement de 96 0/0, on trouve que le rendement total, ou le rapport de la puissance utilisable à la puissance indiquée aux cylindres de la machine à vapeur est de :

$$0{,}77 \times 0{,}94 \times 0{,}96 = 0{,}693.$$

C'est un rendement élevé étant données les conditions de cette installation.

On a été amené à compléter la production de la puissance motrice par l'adjonction d'une machine Willans, à grande vitesse, de 300 *ch* actionnant par accouplement direct une dynamo Pieper à quatre pôles de 1 400 ampères sous 125 volts. Ce courant est réuni, au tableau de distribution, à celui que fournit la dynamo-volant de 500 *ch*.

Voici quel est, dès lors, la distribution définitive des moteurs, l'intensité de courant qu'ils absorbent, leur rendement en chevaux-vapeur et la puissance totale nécessaire à chaque atelier.

	NOMBRE DE MOTEURS	INTENSITÉ DU COURANT fourni en ampères	RENDEMENT en chevaux-vap.	PUISSANCE ABSORBÉE par chaque atelier
Forges	2	250	37	74
Machines à bois	1	143	21	21
Grand hall	5	110	16	80
	2	143	21	42
	4	200	29	116
Atelier de polissage	1	143	21	21
Atelier des manchons	1	110	16	16
Cartoucherie	1	143	21	21
	1	23	3	3
Fabrication des matrices	1	50	8	8
Pompe	1	65	10	10
Condensateur de la machine Willans	1	110	16	16
TOTAUX	21			428

L'intensité totale absorbée par ces 21 moteurs est de 2 923 ampères. L'intensité totale du courant fourni par les deux génératrices fonctionnant simultanément est de 3 800 ampères.

Premier exemple de transport de force dans une grande usine. — Installations de la Vieille-Montagne, près Liège (Belgique).

La Société de la Vieille-Montagne possède à Valentin-Cocq, près de Liège, un établissement métallurgique utilisant en divers points la force motrice que fournissaient un grand nombre de machines à vapeur de faible puissance et dont la consommation par cheval-heure indiqué variait de 30 à 40 *kg* de vapeur. De plus, le nombreux personnel nécessaire pour la conduite d'une telle installation élevait le prix de revient de la force motrice à un chiffre tout à fait exagéré.

Comprenant le grand intérêt qui devait résulter du remplacement de ces machines par une distribution de force perfectionnée, la Direction mit à l'étude différents projets de distribution par l'eau sous pression, par l'air comprimé et enfin par l'électricité.

La division de la force et la position relative des différents bâtiments rendaient presque impossible la transmission par câbles. La disposition de l'usine se prêtait également assez mal à l'installation de conduites pour l'eau ou l'air; enfin le rendement de ces deux derniers systèmes étant des plus médiocres, on les abandonna et l'on adopta la distribution par l'électricité, dont les avantages ne sont plus contestés.

On a donc établi une station centrale d'électricité à l'une des extrémités de l'usine et à proximité du chemin de fer, ce qui permet d'amener directement le charbon dans la salle des chaudières. La batterie de chaudières se compose de trois générateurs, système Babcock et Wilcox, timbrés à 10 1/2 atmosphères et d'une surface de chauffe de 150 m^2. Un de ces générateurs sert de réserve et les deux autres alimentent une machine à vapeur jumelle, système Frickart, de 600 *ch* indiqués, compound, à condensation et tournant à la vitesse de 80 tours par minute.

L'armature d'une dynamo, système Pieper, est calée sur l'arbre de la machine et lui sert de volant. Les inducteurs se développent en couronne autour de l'armature, comme dans la machine génératrice de l'usine d'Herstal. Cette dynamo fournit un courant de 750 ampères sous une tension de 500 volts.

L'installation, qui pourra être doublée par la suite, s'il est nécessaire, comprend actuellement :

5 moteurs de	1	*ch*, soit	. . . .	5 *ch*
7 —	2	—	. . . .	14 —
6 —	3,5	—	. . . .	21 —
6 —	5	—	. . . .	30 —
4 —	7	—	. . . .	28 —
2 —	10,5	—	. . . .	21 —
4 —	14	—	. . . .	56 —
2 —	45	—	. . . .	90 —
1 —	64	—	. . . .	64 —

Soit au total 37 moteurs, donnant ensemble 329 *ch*.

On se propose d'y ajouter encore :

1 moteur de 8 *ch* pour le broyage des minerais;

1 moteur de 14 *ch* pour la commande directe d'une pompe centrifuge;

5 moteurs de 1 *ch* pour actionner des ventilateurs;

1 moteur de 10 *ch* pour un élévateur.

Ce qui donnera encore une puissance utile de 51 *ch* et portera la puissance totale à 380 *ch*.

Il s'agit, comme on le voit, d'une importante application de transport et de distribution de force.

Du tableau principal de distribution partent dix-huit dérivations qui alimentent des tableaux secondaires installés dans les centres d'utilisation de la force motrice.

A la fabrique de blanc de zinc, il y a un tableau secondaire portant sept interrupteurs avec pièces de sûreté, en connexion chacun avec un moteur.

Deux de ces moteurs, d'une puissance de 5 *ch*, commandent des broyeurs Carr; deux autres, de 7 *ch*, actionnent, l'un des pompes centrifuges, l'autre des broyeurs à cylindres. Un moteur de 3,5 *ch* et un de 7 *ch* font marcher des laveuses à vitesse très lente, tandis que le dernier attaque la transmission d'un atelier de zingueur.

On a installé, à 600 *m* de la station centrale, une nouvelle laverie de cendres, dans un endroit où le peu d'emplacement ne permettait pas l'emploi de machines à vapeur et on y a placé un tableau de distribution qui alimente six moteurs, dont :

Deux de 14 *ch*, commandant les laveuses;

Deux de 3,5 *ch*, actionnant des pompes centrifuges;

Deux de 2 *ch*, faisant fonctionner des élévateurs.

La fabrique de produits réfractaires a également un tableau secondaire pour cinq moteurs, savoir :

Un de 45 *ch*, actionnant les meules et pétrins;
Un de 14 *ch*, commandant une machine à faire les briques;
Deux de 5 *ch*, actionnant les pompes pour les presses hydrauliques;
Un de 3,5 *ch*, attaquant par vis sans fin un élévateur.

Les ateliers de menuiserie et de tonnellerie mécanique, de construction et de réparations, de forge, de préparation et de transport des minerais ont aussi chacun leur groupe de moteurs se prêtant aux usages les plus divers. Les uns commandent des ventilateurs, les autres des machines-outils, des scies, des pompes, des marteaux-pilons, des élévateurs, etc.

L'eau de la Meuse est refoulée à l'usine par une pompe d'un débit de 60 m^3 à l'heure, à la hauteur de 110 *m*.

Cette pompe, qui est éloignée de 2 700 *m* de la station génératrice, est commandée par un électromoteur de 45 *ch*. Le câble qui lui amène le courant alimente en même temps les moteurs de deux grues électriques destinées au chargement et au déchargement des bateaux.

Consommation et rendement.

Les chaudières Babcock et Wilcox produisent 12 à 13 *kg* de vapeur par kilogramme de charbon.

La machine à vapeur consomme 6,5 à 7 *kg* de vapeur par cheval-heure indiqué.

Le rendement de cette machine est de 90 0/0; celui de la dynamo génératrice est de 90 0/0 en pleine charge et le rendement des lignes, également en pleine charge, est de 98 0/0.

Le rendement moyen des moteurs étant de 86 0/0, le rendement industriel (rapport du travail utile au travail indiqué à la machine à vapeur) est de :

$$0,90 \times 0,90 \times 0,98 \times 0,86 = 0,685.$$

La concentration de tous les appareils de production de force en un seul point a permis de réduire, dans une grande proportion, les frais de personnel.

Deuxième exemple de transport de force dans une grande usine. — Installations des Cristalleries du Val-Saint-Lambert, près Liège (Belgique).

Aux cristalleries du Val-Saint-Lambert il existait quatre centres de production de force motrice pourvus chacun d'une machine à vapeur et de sa chaudière.

Ces machines consommaient de 30 à 50 *kg* de vapeur par cheval-heure indiqué, et exigeaient chacune deux mécaniciens et deux chauffeurs. Dans ces conditions, le cheval-heure utile revenait à 0,70 *f*, en se basant sur une durée de travail journalier de dix heures.

On résolut donc de modifier cette installation en concentrant en un seul point la production de la force motrice. Une machine à vapeur tandem, système Frickart, compound, à condensation, d'une puissance de 350 *ch* et alimentée par une chaudière Babcock et Wilcox, a été montée dans le bâtiment des tailleries, centre le plus important d'utilisation de la force motrice.

Cette machine commande directement par courroies les transmissions des ateliers voisins ainsi qu'une dynamo Pieper d'une puissance utile maximum de 100 *ch* et donnant un courant de 120 volts. Ce courant est amené au tableau de distribution d'où partent six dérivations alimentant chacune un moteur.

Les moteurs sont éloignés de 100 à 250 *m* de la station génératrice. L'un, de 10 *ch*, commande des tours de tailleurs sur verre et un broyeur de calcaire; trois autres, également de 10 *ch* chacun, actionnent, l'un des mélangeurs, l'autre les transmissions d'un atelier de tourneurs sur bois, et le troisième, un broyeur à mortier démontable qu'on installe d'un côté ou de l'autre de l'usine, suivant les besoins.

Un petit moteur de 2 *ch* fait fonctionner un ventilateur Roods, et un autre, de 15 *ch*, commande la transmission d'un atelier mécanique ainsi que des meules et pétrins pour la préparation des terres réfractaires.

Le cheval-heure utile fourni par les machines de cette installation coûte 0,32 *f*, en comptant sur une durée de travail de dix heures par jour; ce prix de revient diminuera encore lorsque le nombre des moteurs sera augmenté.

Le rendement de la machine à vapeur est de 90 0/0.

Le rendement de la dynamo génératrice est de 90 0/0; celui des lignes, de 96 0/0; et le rendement moyen des moteurs de 87,5 0/0.

Le rendement industriel de toute la transmission, c'est-à-dire le rapport de la puissance disponible sur l'arbre des moteurs à la puissance indiquée à la machine à vapeur, est donc de :

$$0,90 \times 0,90 \times 0,96 \times 0,875 = 0,68.$$

La conduite de tous les appareils est confiée à deux hommes seulement : un électricien et un mécanicien. Depuis un an et demi que l'installation existe, elle a toujours parfaitement bien fonctionné.

Conclusion.

Nous pourrions multiplier les exemples, mais nous pensons que ceux que nous avons donnés suffisent à montrer, ainsi que nous l'annoncions au début de cette note, que les transmissions électriques peuvent, dans bien des cas, remplacer très avantageusement les transmissions mécaniques.

Dans les derniers exemples que nous venons de donner, on a obtenu les rendements commerciaux suivants :

Établissements de MM. de Dietrich et Cie. . .	0,67
Carrières d'Euville	0,633
Manufacture d'Herstal	0,693
Usines de la Vieille-Montagne (Valentin-Cocq).	0,685
Cristallerie de Saint-Lambert.	0,68

On peut donc compter sur un rendement variant de 0,64 à 0,69, qui ne serait certainement pas atteint avec des transmissions mécaniques.

L'étude que nous venons de faire montre que l'on possède aujourd'hui le moyen de transporter et de distribuer la force par l'électricité, non seulement avec la plus grande facilité, mais encore avec des rendements industriels très satisfaisants. Étant donnée la possibilité d'effectuer cette distribution à l'aide de simples lignes aériennes, relativement peu coûteuses, faciles à déplacer et s'adaptant à toutes les exigences des locaux dont on dispose, il est évident que c'est à ce mode de transmission que l'on devra donner la préférence pour l'organisation du service mécanique de la prochaine Exposition de 1900. Aussi l'électricité, qui n'était qu'un accessoire en 1878, mais qui a été utilisée, avec tant de succès en 1889 pour l'éclairage, est-elle appelée, suivant nous, à jouer un rôle prédominant en 1900, non seulement pour l'éclairage, mais aussi pour la distribution et la transmission de l'énergie électrique.

IV. — PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE A LA STATION GÉNÉRATRICE

L'étude du transport électrique de la force demande à être complétée par celle des sources d'énergie mécanique à employer pour produire l'électricité à la station génératrice.

On peut, en effet, utiliser l'énergie des forces naturelles, et, dans ce cas, il importe de donner quelques indications sur la nature de ces forces et les meilleurs moyens de les utiliser.

On peut aussi être conduit à se servir de machines motrices à vapeur ou à gaz et, dans ce cas, il importe de faire entre elles un choix raisonné, puisque l'on perd par le fait même du transport ou de la transmission de 35 à 50 0/0 suivant les circonstances.

On a donc tout intérêt, au point de vue du prix de revient du cheval utilisable, à abaisser autant que possible le coût de l'énergie mécanique employée à la station génératrice.

Telle est la question que M. Lencauchez a bien voulu traiter pour compléter notre étude du transport et de la transmission de la force.

Des moteurs qui doivent donner le mouvement aux dynamos.

Jusqu'ici, on n'a pu trouver que deux sources d'énergie électrique : les piles ; et les moteurs mécaniques donnant le mouvement à des dynamos génératrices, du moins en pratique industrielle et commerciale.

PILES ÉLECTRIQUES

Les piles n'ayant pour combustible qu'un métal brûlé par l'oxygène d'un acide, malgré leur haut rendement thermique, ne peuvent être utilisées que pour de très faibles productions; leurs calories coûtent 30 à 40 fois plus cher que celles données par la combustion de la houille. D'un autre côté, l'énergie électrique est aussi limitée par les piles, car celle-ci ne croît pas proportionnellement au nombre d'appareils assemblés en tension ou en quantité ; et ces appareils sont tellement encombrants, que leur nombre est ainsi très limité pour la surface dont on dispose dans une usine; de plus, la main-d'œuvre que leur entretien réclame pour des quantités notables d'énergie les rendrait encore inappli-

cables. Donc, dès qu'une grande quantité d'énergie est réclamée, c'est aux moteurs mécaniques qu'il faut s'adresser (il est ici complètement inutile de parler des moteurs animés) et les courants qu'ils développent deviennent des transporteurs de lumière, de travail, de force... ou mieux d'énergie.

MOTEURS MÉCANIQUES

Les moteurs mécaniques se divisent en plusieurs classes, qui sont :

a) Les *moteurs gratuits*, c'est-à-dire utilisant les forces naturelles ;

b) Les *moteurs dits à combustion*, c'est-à-dire qui consomment un combustible : houille, anthracite, lignite, tourbe, bois ou hydrocarbures liquides, goudron, pétrole, etc.

Les moteurs gratuits se divisent à leur tour en :

Moteurs constants ;

Moteurs à puissance variable ;

Moteurs irréguliers : à périodes fixes ; à périodes variables et inconstantes.

Moteurs gratuits.

I. — MOTEURS HYDRAULIQUES A PUISSANCE CONSTANTE.

Ces moteurs sont ceux qui utilisent, en montagne, des cours d'eau à grandes chutes, ayant leur origine dans les glaciers ; les chutes ont 50, 75, 100, 150 et même 200 mètres utiles, avec un débit de 1 m^3 à 5 m^3 par seconde ; soit une puissance de 500 à 10 000 *ch.*

Généralement les installations sont faites pour n'utiliser que le minimum de débit et l'excès d'eau s'échappe par un déversoir en temps de crue.

MOTEURS HYDRAULIQUES A PUISSANCE VARIABLE.

Ces moteurs sont ceux qui utilisent la totalité du débit maximum des cours d'eau à volume variable et irrégulièrement variable.

Dans ce cas, l'excès sur la puissance moyenne est accumulé sous forme d'énergie électrique par des piles secondaires dites accumulateurs ou encore par de grands réservoirs (étang ou petit lac) qui sont de véritables accumulateurs du volume irrégulier d'eau débitée ; ainsi, une usine hydraulique qui ne marche que

le jour dispose en amont d'un bassin de retenue, qui emmagasine la nuit l'eau débitée par le cours d'eau ; de sorte que, pendant le jour, elle dispose de deux volumes constants, et, dans ce cas, l'accumulateur est le bassin ou lac de retenue.

Dans cette classe de moteurs à puissance variable se trouvent encore ceux utilisant les marées, qui sont irrégulièrement variables, pour leur périodicité, comme pour les différences de hauteur d'eau donnée par chacune d'elles.

Sur les côtes de Bretagne, on trouve des moulins à farine construits sur des goulets barrés avec chute d'entrée et chute de sortie pour de petits lacs salés de 6 à 15 km^2, formant régulateurs temporaires, pendant quatre fois 3 heures ou 3 heures et demie par jour. Quand la marée a monté de 1 *m* à 1,50 *m* ou 2 *m* au-dessus du niveau du lac, on ouvre les vannes et on fait tourner le moteur hydraulique d'entrée ; quand les niveaux relatifs de la mer et du lac tendent à s'équilibrer, on arrête ; puis on ouvre en grand les vannes du barrage pour remplir le petit lac au niveau maximum de la marée du jour ; après un repos de 2 heures à 2 heures et demie ou 3 heures, on met en marche le moteur de sortie, quand la chute est suffisante pour donner la puissance moyenne et l'on utilise ainsi l'écoulement de l'eau à la mer, tant que la chose est possible ; puis on arrête à nouveau et on vide le lac à marée basse, et ainsi de suite.

Au moyen de piles secondaires, on peut utiliser cette force naturelle, pour l'écouler très régulièrement sous forme d'énergie électrique à tous moments et quand on en a besoin.

Choix à faire parmi les accumulateurs. — Nous ne nous occuperons pas ici des petites chutes dans les pays de plaines, pas plus que des grands volumes d'eau sous chute inférieure à 5 ou 6 *m*.

Dans le premier cas, on passe souvent d'une force maxima de 10, 15, 30 et 50 chevaux à zéro, à l'étiage ; de sorte qu'aucune moyenne pratique ne peut être faite ; l'aménagement de la chute exige un capital immobilisé très considérable ; et, de plus, son barrage est une véritable calamité publique pour la contrée, car il stérilise les prairies dont les herbages ne donnent plus que des végétations aquatiques sans la moindre valeur, et l'économie de combustible réalisée par le moteur hydraulique ne représente souvent pas la dixième partie de la perte en fourrage qu'il cause ; de plus, ce barrage est encore l'origine du développement de fièvres paludéennes et autres genres d'insalubrités.

Dans le second cas se trouvent les grands barrages des rivières canalisées qui, par leur volume très considérable, passent de 10, 15 et 30 m^3 par seconde à l'étiage, à 1 000, 1 500 et 2 000 m^3 également à la seconde, au moment des grandes crues : il est donc impossible de songer à régulariser des chutes aussi vagabondes qui peuvent se réduire à rien et ont de tels maximums ; comme leurs irrégularités durent plusieurs semaines, il est aussi impossible de songer aux lacs régulateurs, pas plus qu'aux accumulateurs électriques, dont les frais d'établissement dépasseraient toutes les bornes.

Cependant, une exception est à faire pour les déversoirs des lacs naturels d'une surface de 3, 5, 10, 20 km^2 et plus, qui, avec des chutes variant entre 5 et 6 *m*, par exemple, peuvent, avec une différence de niveau de 1 *m*, accumuler gratuitement une puissance mécanique, très considérable pour une longue période, et que, plus tard, on transformera à volonté en énergie électrique pour être utilisée directement sans passer par les piles secondaires.

II. — Moulins a vent.

Le vent est une force des plus variables en direction, en intensité comme en puissance mécanique pratiquement utilisable. Cependant, pendant longtemps, nos pères eurent des moulins à farine, des huileries, des scieries mécaniques, des pompes d'épuisement, comme en Hollande, mis en mouvement, avec une activité plus ou moins grande, par le vent. On admet en général, dans le nord de la France, qu'un moulin dont les quatre ailes ont de 8 à 10 *m* de rayon et 1,40 *m* à 1,80 *m* de largeur, peut en moyenne, pendant les deux tiers du temps, donner une force pratiquement utilisable de 4 *ch* effectifs ; mais si, pendant le tiers du temps, ce moulin ne peut produire aucun travail utile, il est capable de développer, pendant un autre tiers du temps, un travail beaucoup plus considérable qu'on peut estimer à 8 ou 10 *ch* effectifs, suivant sa grandeur. Le travail que peut fournir un moulin pendant 270 jours $\times$ 10 heures $=$ 2 700 heures par année, est à prendre en considération dans beaucoup de pays.

Comme les moulins à vent transformant leur travail en énergie électrique peuvent tourner à différentes vitesses, s'ils sont construits spécialement à cet effet, qu'ils peuvent être orientés, gouvernés, réglés par des transmissions électriques soumises à l'action de bons régulateurs automatiques, on peut admettre qu'un

mécanicien-gardien et un aide pourraient surveiller dix moulins qui, pendant 2 700 heures par an, produiraient un travail de $10 \times 10\ ch = 100\ ch$ effectifs.

Ces 100 *ch*, distribués régulièrement pendant dix heures tous les jours à une usine sous forme d'énergie électrique à l'aide d'accumulateurs chargés pendant la marche du moulin, y donneraient, pour 300 jours de travail, une puissance utilisable de 37 *ch*.

A première vue, dans nos pays d'Europe, il semble que jamais, ou de bien longtemps, on ne sera forcé de recourir à un tel artifice pour se procurer la lumière, la chaleur, le travail, etc.; mais il n'en est pas de même pour certains pays déserts, très riches en mines, comme le versant ouest de l'Amérique du Sud, où on serait fort heureux de faire de la traction électrique sur des chemins de fer économiques par un moyen semblable; sans compter l'exploitation des mines, ainsi que la préparation mécanique *(dite concentration en Amérique)* pour l'enrichissement des minerais.

Moteurs à combustion.

Nous ne considérerons, dans cette étude, que deux types de moteurs :

Les machines à vapeur,

Et les machines à explosion ou mélanges détonants.

Machines a vapeur

Les machines à vapeur se divisent en des variétés infinies de types, où la fantaisie des inventeurs a dépassé toutes limites; et il est bon de dire qu'aujourd'hui (en 1894), tous les prétendus perfectionnements dont on les a accablées depuis 1850 les laissent encore à la dépense de 10 *kg* de vapeur par heure et par cheval effectif; soit à la consommation *(avec de bonnes chaudières, ce qui est rare)* de 1,200 *kg* de houille ordinaire de bonne qualité. Peu d'usines, parmi celles qui sont le mieux tenues, pourraient donner un chiffre de consommation plus bas, en divisant le nombre de kilogrammes de houille brûlée dans une année par le nombre de chevaux-vapeur mesurés sur les arbres de couche de leurs machines pendant le même temps, soit pendant le même nombre d'heures de travail. Ainsi, en 300 jours de travail utile effectif, on a brûlé une quantité Q *kg* de houille, pour dix heures de travail réel par jour, pour produire un travail :

$$T = 300 \text{ jours} \times 10 \text{ heures} \times N\ ch \text{ effectifs.}$$

T est le nombre total de chevaux-heures effectifs sur les arbres de couche des machines pendant une année industrielle.

La dépense réelle de houille par heure et par cheval effectif est $\frac{Q}{T} = x\,kg$, et si $x = 1{,}200\,kg$, il faut s'estimer très heureux, car beaucoup de machines réputées bonnes dépensent le double.

Nous ne pouvons, dans le cadre que nous nous sommes tracé ici, traiter à fond toutes les questions qui intéressent la production et l'emploi économique de la vapeur, mais nous allons cependant indiquer sommairement les conditions desquelles on ne doit pas sortir pour obtenir de la vapeur tout ce que, pratiquement, elle peut donner.

Production de la vapeur. — Pour produire de la vapeur, il faut développer par la combustion 640 calories en moyenne par kilogramme de vapeur.

Le meilleur générateur à vapeur ou chaudière sera celui qui, par kilogramme de combustible, donnera la plus grande quantité de kilogrammes de vapeur. Si nous prenons un combustible type à 8 000 calories le kilogramme, nous devons le brûler de telle façon qu'il dégage ces 8 000 calories avec 10 à 12 m^3 d'air au plus; et qu'il se transforme en vapeur d'eau, acide carbonique et en cendres ne renfermant pas de parties charbonneuses incomplètement brûlées; il faut aussi que sa fumée ne renferme pas trace de gaz combustibles : oxyde de carbone, hydrogène, hydrocarbures, accompagnés ou non de noir de fumée, car la combustion incomplète des houilles au gazogène qui les transforme en gaz de chauffage ne peut en dégager au maximum que 30 0/0 du calorique produit par la transformation totale en acide carbonique et en eau.

Donc, dans ce cas, on n'a plus que :

$$8\,000 \times 0{,}30 = 2\,400 \text{ calories}$$

par kilogramme de houille, pour la partie incomplètement brûlée.

Mais, entre la production de 8 000 calories par kilogramme et celle de 2 400 calories, il y a tous les intermédiaires. On peut estimer en moyenne la perte par défaut de combustion : dans les bonnes installations à 10 0/0, et dans les médiocres, à 15 et 20 0/0 suivant les qualités et propriétés des combustibles employés (brûlés).

La combustion avec 20 0/0 d'air en excès est parfaite et donne

le maximum d'effet utile, avec certaines houilles pas trop sèches, pas trop grasses, ne décrépitant pas sur grille, avec le tirage de 10 *mm* à 15 *mm* d'eau au-dessus de la grille et avec une épaisseur de charge de 0,100 *m* à 0,075 *m* couvrant régulièrement et uniformément ladite grille; mais cette houille idéale est rare et, de plus, les chauffeurs qui chargent régulièrement et uniformément leur grille sont plus rares encore. Il y a donc intérêt à disposer les grilles de telle façon que les chauffeurs ne puissent faire autrement que de bien brûler le combustible qui leur est donné. Deux moyens sont connus à cet effet : le premier consiste à avoir une grande et très haute cheminée, pour avoir un très fort tirage, de 15 *mm* à 25 *mm* d'eau sur la grille qu'il faut disposer dans un foyer gazogène genre Ten Brinck, qui proportionne toujours l'air secondaire à la quantité d'air primaire pour donner la combustion complète dans plus de 20 0/0 d'air en excès.

Le second moyen consiste à remplacer les grands tirages par le soufflage du foyer, de façon à se trouver dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec les mêmes différences de pression, pour avoir les mêmes vitesses; mais, dans un cas comme dans l'autre, le foyer appartient toujours au type gazogène.

Avec certaines constructions qui s'éloignent beaucoup du type des Ten Brinck d'Orléans, l'air secondaire est obligé de parcourir *(au-dessus des grandes grilles de 2, 3 et 4* m² *de surface)* depuis 0,500 *m* jusqu'à 1 et 1,50 *m* de chemin, pour briser le parallélisme des veines fluides en combustion imparfaite, ce qui conduit, pour l'air secondaire, à employer des pressions de vent de 1 *m* de colonne d'eau jusqu'à 10 *m*. C'est ce qui force à employer des ventilateurs à haute pression, des machines soufflantes et des compresseurs. Or, toutes ces dispositions déplaisent souverainement aux praticiens et à leurs ouvriers chauffeurs. De là, les fumées incommodes que l'on rencontre partout, avec un faible effet utile du combustible en production de vapeur qui est souvent inférieure à 60 0/0, correspondante à 7,5 *kg* de vapeur sèche par kilogramme de houille brûlée :

$$\frac{7{,}5\ kg \times 640 \text{ calories} \times 100}{8\,000 \text{ calories}} = 60\ 0/0.$$

On peut remplir un volume avec la description des bonnes dispositions que réclame chaque combustible pour être bien brûlé, en donnant le maximum d'effet utile sans trace de fumée noire ou grise; nous pourrions même citer un foyer à goudron de la Com-

pagnie Parisienne du Gaz qui, sans injection de vapeur ou de vent à haute pression, sans pulvérisateur, est cependant d'une fumivorité absolue, quoique le goudron de houille à gaz soit le combustible le plus difficile à brûler.

Ce foyer est des plus simples; il ne comporte aucun appareil mécanique; il ne réclame que peu de soins, et un chauffeur peut surveiller facilement vingt foyers. Malgré tous ces avantages, il est peu répandu, probablement parce que les choses simples ne plaisent pas à première vue; il faut les imposer d'autorité comme le système métrique et le Ten Brinck de la Compagnie d'Orléans pour lequel on a dit aux machinistes et chauffeurs : « Vous vous en servirez, vous ferez des économies et de l'augmentation de puissance, surtout vous serez fumivore; ou vous serez impitoyablement renvoyés, après trois amendes : *m*, *n* et *o* francs. »

La neige noire, comme on dit à Londres, et la fumée incommode que l'on rencontre dans toutes les grandes villes industrielles sont dues exclusivement :

1° A l'ignorance des ouvriers;

2° Au mauvais vouloir des patrons;

3° A la mansuétude de l'Administration, pour cette cause d'insalubrité comme pour tant d'autres.

La fumivorité est plus facile à obtenir sur une locomotive; le chauffeur, ayant l'œil sur la cheminée, introduit une plus ou moins grande quantité d'air secondaire dans le foyer (Ten Brinck ou avec voûte en briques) suivant l'aspect de la fumée.

Pour les foyers fixes, on peut se rapprocher de cette marche en brûlant avec excès d'air, en sorte qu'au moment du chargement on fasse disparaître la fumée noire en la réduisant à une fumée grise presque incolore.

Générateurs.

Nous ne pouvons pas non plus faire connaître les très et trop nombreux systèmes de générateurs de vapeur dont nous allons dire deux mots en les divisant en quatre classes :

1° Les chaudières à gros bouilleurs et à foyer extérieur;

2° Les chaudières à petits bouilleurs *(tubes de 0,05* m *à 0,12* m *de diamètre)* dites multitubulaires et à foyer extérieur;

3° Les chaudières tubulaires à foyer extérieur dites semi-tubulaires;

4° Les chaudières réellement tubulaires, à foyer intérieur.

Les trois premiers types étant à foyer extérieur en maçonnerie perdent par le rayonnement de celui-ci de 10 à 20 0/0.

Les chaudières à gros bouilleurs sont dangereuses, la circulation de l'eau y est mauvaise, et le grand volume d'eau qu'elles renferment cause de véritables catastrophes à chaque explosion.

Les chaudières à petits bouilleurs dites multitubulaires peuvent, bien construites, avoir une bonne circulation; et comme elles renferment relativement peu d'eau, elles ne présentent pas un très grand danger.

Elles sont généralement qualifiées d'inexplosibles parce que, seuls, les tubes vaporisateurs peuvent, en crevant, causer des accidents limités aux brûlures par jets de vapeur; en d'autres termes, elles ne peuvent causer que des accidents isolés, sans jamais faire sauter un établissement tout entier.

Les chaudières tubulaires à foyer extérieur et à grand diamètre, de 1,80 *m* à 2,20 *m* et plus, dites semi-tubulaires, souvent à deux et trois bouilleurs, ont généralement une très mauvaise circulation dans ceux-ci, et, par suite de leurs grands diamètres, elles sont des plus dangereuses en cas d'explosion.

Enfin, les chaudières tubulaires à foyer intérieur du type des locomotives ou de celui de Cornouailles, à un seul foyer, avec grande chambre de combustion, sont les seules qui peuvent arriver au maximum de production : 9,364 *kg*, soit

$$\frac{9{,}364\ kg \times 640 \text{ calories} \times 100}{8\ 000 \text{ calories}} = 75\ 0/0.$$

Or, cette production de 9,364 *kg* de vapeur réelle, sous pression de 6 à 8 *kg* par kilogramme de combustible de première qualité *(sous tous les rapports et à 8 000 calories)* est chose très rare en prenant l'eau d'alimentation entre 15 et 25°.

Ces chaudières, bien faites, présentent autant de sécurité que les chaudières multitubulaires, avec l'avantage d'une production supérieure de 15 0/0 en moyenne.

Les accidents qui peuvent leur arriver sont des ruptures de tubes, des déboitements causant des fuites sans suites fâcheuses; seul, l'écrasement d'un foyer usé ou incrusté peut donner des fuites qui ne sont pas plus funestes que celles des tubes des chaudières multitubulaires.

En résumé, on peut dire qu'en général, en production de vapeur, on utilise 60 0/0 et, dans les conditions les plus parfaites,

75 0/0 du calorique dégagé par la combustion des combustibles industriels.

C'est donc en partant de 0,60 à 0,75 à l'origine que nous allons examiner le rendement des machines à vapeur.

DE L'EMPLOI DE LA VAPEUR POUR LA PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE

De même que la variété des chaudières à vapeur est illimitée, celle des machines ne l'est pas moins ; la fantaisie et l'empirisme s'y sont donné libre carrière. Si, d'un côté, comme nous l'avons dit, aucun progrès n'a été réalisé depuis quarante à quarante-cinq ans dans la consommation des machines à vapeur, en ce qui concerne la dépense courante, qui est restée invariablement à 10 *kg* de vapeur par heure et par cheval effectif, mesuré sur l'arbre de couche, d'un autre côté, de très grands perfectionnements ont été réalisés dans leur construction pour les détails d'organes mécaniques divers les constituant. Donc, nous ne considérons ici que les machines modernes, en laissant de côté les machines à balancier, les machines inclinées, les machines oscillantes, les machines verticales, etc., ainsi que les premières Compound, Woolf et Tandem, lourdes et encombrantes, marchant à très petites vitesses *(15 à 40 tours de manivelle par minute)*, pour ne nous occuper que des machines marchant de 60 à 300 tours par minute, en considérant comme peu pratiques et fort peu durables celles qui tournent à de plus grandes vitesses, sans condamner les machines qui feraient 3 tours de moins ou 25 tours de plus.

Les machines modernes ayant fait leurs bonnes preuves sont :

1° Les machines Sulzer (de 45 à 75 tours);

2° Les machines Corliss (de 50 à 90 tours);

3° Les machines Armington-Sims (de 100 à 300 tours);

4° Les machines tandem (de 50 à 150 tours);

5° Les machines compound (de 100 à 300 tours).

Les trois premiers types forment de très bonnes machines horizontales; mais quand on les monte dans le système vertical elles perdent une notable partie de leurs meilleures qualités.

Les machines des deux derniers types se recommandent comme anciennement les machines Woolf; théoriquement, elles sont inférieures aux machines monocylindriques, mais pratiquement, elles présentent les avantages suivants :

a. — La pression peut être diminuée de moitié sur les tiroirs et les pistons;

b. — Les fuites sont moins importantes ;

c. — Si une distribution ou un piston a des fuites, l'autre n'en ayant pas, il n'y a plus perte totale de vapeur, car il n'y a qu'une réduction d'effet utile ;

d. — Les distributions par recouvrement des tiroirs étant assez bonnes pour des admissions de 25 à 75 0/0 de la course du piston, restent donc bonnes avec $\frac{25}{2} = 12,5$; $\frac{25}{2,5} = 10$ et avec $\frac{25}{3} = 8$ 0/0 d'admission, suivant que le volume engendré par le grand piston est 2 fois, 2,5 ou 3 fois plus grand que celui engendré par le petit piston. A ceci, les partisans des machines monocylindriques répondent :

a', *b'*, *c'*. — En donnant de la longueur aux presse-étoupes et aux pistons, avec gorges vides et pleines *(remplies par des ressorts suédois)*, les fuites sont nulles, même aux plus hautes pressions.

Les portées étant plus longues, le parallélisme se maintient mieux ; les charges par unité de surface ne sont pas plus grandes et l'usure due au frottement n'est pas plus considérable que dans les autres machines bien faites.

d'. — Les distributions Sulzer, Corliss, Armington-Sims, modifiées par MM. Lecouteux et Garnier, comme celles de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans, donnent de meilleurs diagrammes que ceux obtenus avec les Tandems et les Compound, car leurs organes de distribution durent indéfiniment, et tous les prétendus avantages des machines multicylindriques, vrais il y a quarante et cinquante ans, ne le sont plus aujourd'hui ; donc, les raisons pratiques si favorables anciennement aux Woolf, Tandem et Compound n'existent plus à présent; mais le manque d'élasticité des machines multicylindriques doit les faire rejeter des projets où les forces sont variables pendant des périodes plus ou moins longues, avec des écarts considérables ; telle, par exemple, une machine passant de 50 à 150 *ch*, en plus ou en moins, suivant les besoins d'un service irrégulier d'éclairage ou autre.

Comme toutes les machines bien faites, dans les types ci-dessus spécifiés, pour des puissances de 60, 80, 100 et 150 *ch*, produisent le cheval-vapeur effectif, *mesuré sur l'arbre*, avec une dépense de 10 *kg* de vapeur par heure et par cheval, il n'y a pas lieu de se passionner pour un type plutôt que pour un autre.

Dans les ouvrages spéciaux, on parle et on discute beaucoup sur les différences de température dans les cylindres entre la pres-

sion maxima *(celle de la chaudière)* et la pression minima *(le vide partiel au condenseur)* dans un ou plusieurs cylindres; mais, comme le résultat final est le même, il n'y a pas lieu de s'y arrêter.

De même, on discute encore les enveloppes à circulation de vapeur.

Comme la variété des enveloppes est trop considérable pour être étudiée à fond ici, et que, généralement, la discussion sur les enveloppes tombe dans la casuistique, nous nous bornerons à dire que :

1° La vapeur qui arrive au cylindre doit être sèche;

2° La vapeur qui arrive dans l'enveloppe doit être à une température de 8, 10 et 15° au-dessus de celle qui va directement au cylindre, ce qui est donné par un détendeur ou par une seconde chaudière timbrée à 3, 4 ou 5 *kg* au-dessus de la première.

Quand on a recours à un détendeur pour obtenir une différence de pression de 3 à 5 *kg*, et à une pompe alimentaire de rétrogradation *(à double effet)*, l'eau de condensation peut atteindre 20 0/0 et la vapeur en excès 13 à 15 0/0, ce qui fait (20 + 15 =) 35 0/0 du poids total de vapeur consommée par la machine.

Mais, par exemple, si une machine à vapeur doit être alimentée par trois chaudières d'égale surface de chauffe, deux peuvent être timbrées à 6 *kg* et une à 9 ou 10 *kg*. La vapeur à haute pression, après avoir circulé dans l'enveloppe, arrive dans l'une quelconque des deux chaudières timbrées à 6 *kg* en soulevant une soupape intérieure à charge directe de 3 *kg*, ce qui donne une pression totale dans l'enveloppe de 6 + 3 = 9 *kg*, avec une différence de température de 14°. Dans ces conditions, l'enveloppe devient un *vaporisateur-surchauffeur*, avec un excès de température de 14° à l'introduction avant toute détente et de 95° à fin de course du piston, avec une machine à condensation.

L'enveloppe ainsi disposée fait donner à la vapeur son maximum d'effet utile sans faire gripper les piston, cylindre, distribution et presse-étoupes.

Sous la pression due aux remarquables travaux de M. Hirn, on a, dans ces derniers temps, mis à la mode les *surchauffeurs de vapeur;* ces appareils coûteux, d'un effet utile souvent contestable, sont rapidement rongés par l'oxydation; s'ils transforment les machines à vapeur en machines à gaz chaud, ils les font gripper en les mettant rapidement hors de service, ou alors leur faible surchauffe n'est qu'un séchage de vapeur jusque dans les cylindres;

aussi les partisans des surchauffeurs de vapeur réclament-ils la suppression des enveloppes.

Jusqu'ici, les machines à vapeur surchauffée les plus perfectionnées sont à peine arrivées à la même dépense réduite de combustible que les machines à vapeur à enveloppe surchauffée par un excès de pression de 3 à 5 *kg*.

Or, à première vue, il semble plus rationnel d'avoir recours à l'enveloppe qui ne réclame aucun soin et qui est inusable, qu'à un surchauffeur qui réclame continuellement les soins du chauffeur, et qui, malgré de très bons soins, s'use rapidement en risquant de faire gripper la machine par la moindre exagération de surchauffe. En d'autres termes, le surchauffeur ne peut être la cause de la moindre économie de combustible avec une machine bien installée, et peut, au contraire, être la cause de continuelles avaries, principalement avec des chauffeurs plus ou moins insouciants ou négligents.

De la condensation et du réchauffage à 100° à 1 *atm* (760 *mm*) de l'eau d'alimentation

Pour déterminer la quantité de calorique utilisé, il faut tenir compte de la détente et du travail donné par 1 *kg* de vapeur, soit du travail total réalisable en bonne pratique industrielle. Il résulte de très nombreuses expériences que :

1° A fin de course, la pression effective sur un piston doit être de 0,5 *kg* ou 1/2 *atm* ;

2° La détente doit donner, au minimum, une expansion de 7/8, qui peut être poussée jusqu'aux 15/16.

Il résulte de ceci que, si une machine est à condensation, la pression sous laquelle elle devra fonctionner sera de : 0,5 *atm* × 8 = 4 *atm* = 4,10 *kg*.

Donc en faisant timbrer sa chaudière à 5 *kg* ou 6,25 *kg*, on disposera d'une pression supérieure à celle qui est indispensable pour obtenir le maximum d'effet utile. Si la machine, au lieu de donner sa force normale sous pression de 4,10 *kg*, avec introduction au 1/8, reçoit de la vapeur à 6 *kg*, l'introduction se réduira au 1/12 et, comme le poids du mètre cube de vapeur passera de 2,200 *kg* à 3,400 *kg*, la dépense par heure et par cheval effectif sur l'arbre restera constante.

De même, si, sans changer la pression normale de 4,10 *kg*, on diminue de moitié le travail de la machine, l'introduction au 1/8

se réduisant au 1/20ᵉ, la dépense par cheval effectif restera aussi constante, attendu que si le travail par détente augmente, les résistances passives croissent d'autant, et la chute de température réellement utilisée n'est que de :

$$144^\circ - 82^\circ = 62^\circ$$

pouvant aller à $144^\circ - 61^\circ = 83^\circ$.

Cependant, il semblerait à première vue que la chute de température de 83° au lieu de 62° devrait donner un accroissement de travail proportionnel; malheureusement, il n'en est rien, attendu que la décroissance du travail utile est des plus rapides; en effet, si on considère le diagramme *(fig. 65)*, du travail de la vapeur par détente, on voit que si une quantité de vapeur ABFE a produit un travail ABCDE utile, on reconnaît par contre que, s'il avait été prolongé en CDG, il aurait été nul en pratique à partir de CD, la pression sur le piston étant alors inférieure à 1/2 *atm*. Si, au lieu d'introduire au 1/8 sous pression de 4 *atm*, on introduisait au 1/20 sous pression de 8 *atm*, on gagnerait le travail ABHI qui, théoriquement, d'après la loi de Mariotte *(qui n'est pas applicable ici)* serait de 18 0/0; mais comme il faut tenir compte des températures, de la chaleur totale à 4 *atm* et à 8 *atm*, de la condensation due à la détente de la vapeur dans le cylindre, ainsi que des résistances dues à une pression double sur tous les organes de frottement, ces 18 0/0 se réduisent à rien dans presque toutes les machines; et dans les machines multicylindriques, compound, à triple et à quadruple expansion, si on trouve une utilisation de 8 0/0 mesurée sur les diagrammes, celle-ci se réduit à 3 ou 5 0/0, au plus, mesurée sur l'arbre, et seulement quand la machine fonctionne dans ses meilleures conditions d'établissement, c'est-à-dire quand ses 2, 3 ou 4 diagrammes superposés donnent le diagramme que l'on obtiendrait dans une machine monocylindrique; mais dès que l'on s'écarte de ces conditions théoriques d'établissement, on ne tire plus rien de ces 18 0/0; loin de là, car on perd souvent 5, 10, 15 et 20 0/0, tant la marche est défectueuse.

Si on veut obtenir la même détente de la vapeur sans condensation, il faut porter la pression minima à :

$$1{,}5\,atm \times 8 = 12\,atm;$$

donc, faire timbrer la chaudière à 12 *atm*. La température à cette pression est de 189°; à 1,5 *atm*, elle est de 112°. La chute de température est donc de $189^\circ - 112^\circ = 77^\circ$ dans ce cas.

Dans les essais faits par M. Delafond, Ingénieur en chef des Mines, sur une machine Corliss des plus perfectionnées du Creusot, de la force de 225 *ch* effectifs, on a trouvé les dépenses ci-dessous par heure et par cheval effectif, mesuré sur l'arbre.

PRESSION EFFECTIVE MOYENNE à la chaudière	DÉPENSE DE VAPEUR PAR CHEVAL-HEURE EFFECTIF		DIFFÉRENCE
	MARCHE à condensation	MARCHE sans condensation	
2,500 *kg*	11,800 *kg*	»	»
3,500	10,310	12,640 *kg*	19 0/0
4,500	9,470		
5,500	»	10,800	13
6,250	9,380		
7,750	9,270	10,740	8

L'examen de ce tableau fait voir qu'à partir de la pression 4,5 *kg* jusqu'à 7,75 *kg*, on gagne fort peu de chose (2,2 0/0) et qu'également sous la pression 7,75 *kg*, la marche avec condensation ne fait qu'une économie de 8 0/0 sur la marche sans condensation; très probablement, avec la marche à 12 *atm* on arriverait au même résultat, avec ou sans condensation.

D'un autre côté, il faut remarquer qu'avec le fonctionnement sans condensation, les réchauffeurs d'eau d'alimentation portent celle-ci à 100° et qu'on peut la refouler aux chaudières à 97°, au lieu de 30°, comme dans le cas où l'alimentation est prise dans la bâche de la pompe à air d'une machine à condensation.

Dans ce cas, la différence est de 97° — 30° = 67 calories par kilogramme d'eau d'alimentation qui, pour être transformé en vapeur sous pression de 12 *atm*, réclame 664 — 30 = 634 calories *(prise à 30°)*.

L'alimentation à 97° supprimant 67 calories sur 634 calories, donne une économie de 10 0/0. Comme il est facile de le voir, avec des machines sans condensation timbrées à 12 *kg*, on peut réaliser une économie de 10 0/0 sur les meilleures machines à condensation, avec une consommation d'eau de 8,300 *kg* par heure et par cheval, ce qui, avec la vapeur condensée dans le réchauffeur, donne :

$$8{,}300\,kg + 1\,kg = 9{,}300\,kg$$

d'eau vaporisée par les chaudières, tandis que cette consomma-

tion totale de 9,300 *kg* par cheval et par heure s'élève à 350 *kg* ou litres avec des machines à condensation. Ainsi, une station électrique d'une puissance de 5 000 *ch* réclamerait

$$5\,000 \times 0{,}350\, m^3 = 1\,750\, m^3$$

d'eau par heure pour la condensation, soit une petite rivière que l'on ne trouve pas partout.

Quand on dispose de beaucoup d'eau, comme sur les bords d'une grande rivière, ce que l'on peut faire de mieux, c'est de faire marcher à condensation 4 unités sur 5. Alors, si nous prenons l'exemple d'une usine de 5 000 *ch*, 4 000 *ch* seront à condensation, et 1 000 *ch* à échappement libre (à 1 *atm* = 760 *mm*) dans un réchauffeur qui portera à 100° l'alimentation totale des 5 000 *ch*, soit : 5 000 × 10 *kg* = 50 000 *kg* d'eau par heure.

Dans ces conditions, la moitié des chaudières sera timbrée à 6 *kg* et l'autre moitié le sera à 12 *kg*. De cette façon, 20 0/0 de la vapeur, à haute pression (12 *kg*), donneront le mouvement aux machines sans condensation, et les 30 0/0 restants circuleront dans les enveloppes de vapeur de tous les cylindres (dont les 4/5 à condensation) qui donneront une vaporisation considérable, puisque la surchauffe de l'enveloppe sera de 28° à 30° à l'introduction, pour être de 100° en moyenne au moment où commence l'échappement. L'eau condensée dans les enveloppes avec l'excès de vapeur de circulation se rendront dans l'une des chaudières timbrées à 6 *kg*, en soulevant une soupape chargée à 5 *kg*, pour avoir à l'évacuation une pression d'au moins (6 + 5 =) 11 *kg* ; là, l'eau distillée condensée dans les enveloppes sera vaporisée à nouveau.

En procédant de cette façon, on peut économiser encore 10 0/0, de sorte que la consommation réelle d'eau par cheval effectif peut être réduite en alimentation à :

$$8{,}300\, kg \times 0{,}9 = 7{,}470\, kg \text{ par heure,}$$

avec une dépense de combustible *(houille de premier choix)* inférieure à 1 *kg* par cheval effectif et par heure.

Nous savons parfaitement que souvent on nous parle de machines à vapeur ne dépensant que 6 *kg* à 7,5 *kg* de vapeur par heure et par cheval indiqué, principalement pour des machines à triple ou quadruple expansion, et, comme les essais au frein ne sont pas possibles, on se contente de ce briliant résultat, beaucoup plus apparent que réel : car, en effet, si la machine est à

quadruple expansion, c'est comme si, pour un même travail, on comptait celui fait isolément par quatre machines qui, toutes, auraient un coefficient *k* de rendement, dont il faudrait tenir compte ; or, dans le cas de la quadruple expansion, il y a 4 valeurs de *k*, de sorte que si $k = 0{,}88$, ce qui est un très beau rendement, pour quatre machines dans les conditions les plus favorables, $\overline{k}^4 = \overline{0{,}88}^4 = 0{,}60$. Il est vrai que si l'on a fait travailler la vapeur sous la pression de 16 *atm* pour l'échapper à 1/2 *atm*, on a obtenu un accroissement de travail de 0,18; d'où il suit que si, à 0,60, on ajoute 0,18, on obtient un total de 0,78, qui est le rendement de toute bonne machine à vapeur.

Conclusions

Nous dirons que, pour obtenir d'une machine à vapeur le maximum d'effet utile pratique que peut donner la combustion d'un combustible industriel, il faut :

1° Que la combustion soit complète sur les grilles de ses chaudières;

2° Que les chaudières échappent leurs gaz brûlés, en totalité, entre 200° et 300° au maximum;

3° Que les chaudières ne donnent lieu qu'à une faible perte de calorique par rayonnement *(3 à 5 0/0 au plus)* et non pas 15 à 20 0/0 comme souvent on le constate en pratique;

4° Que la vapeur qui s'échappe de ces chaudières soit sèche et non pas à 15 et 30 0/0 de brouillard (eau de crachement);

5° Que la vapeur arrive aux machines sans refroidissement, soit sans condensation chemin faisant;

6° Que l'introduction maximum de la vapeur ne dépasse pas 1/8 de la course du piston et ne soit pas réduite au-dessous de 1/20;

7° Que la vapeur qui travaille dans les cylindres ne circule pas dans les enveloppes et les fonds des cylindres;

8° Que les cylindres soient fortement réchauffés par un courant de vapeur à une pression de 5 *kg* à 6 *kg (ou atmosphères)* au-dessus de celle qui travaille dans lesdits cylindres, afin de transformer ceux-ci, grâce à une différence en plus de 25° à 30° de température, en de véritables vaporisateurs;

9° Que le courant de vapeur réchauffeur *(surchauffeur de 25° à 30°)* soit des plus actifs, afin de bien balayer les enveloppes et doubles fonds des cylindres de toutes traces d'eau et de gaz mis en liberté, qui réduisent souvent à rien le rôle des enveloppes,

ce qui fait encore dire à bon nombre de praticiens qu'elles sont inutiles;

10° Que le courant surchauffeur, sortant des enveloppes chargé d'eau et de gaz, aille sans perte de calorique se déverser dans les chaudières à pression inférieure, d'où la vapeur, séchée par choc, et l'air mis en liberté, passent aux machines pour y travailler, réunies à la vapeur produite à une tension inférieure : l'eau de condensation des enveloppes, qui peut atteindre 20 0/0 dans certains cas, alimente donc de 20 0/0 les chaudières, à température d'ébullition; c'est-à-dire que cette eau ne réclame pas de calorique sensible pour se transformer en vapeur;

11° Qu'une fraction de la puissance totale (1/5) soit sans condensation, et que la totalité de son échappement soit employé à réchauffer à 100° la totalité de l'eau d'alimentation de toutes les chaudières (à 6 *kg* comme à 12 *kg*) formant le groupe composant la puissance totale de l'établissement;

12° Employer, quand les résistances sont constantes, ainsi que la puissance, comme dans le cas des élévations d'eau, des souffleries, des compresseurs, etc., *(si les machines réclament deux ou trois manivelles et cylindres)*, la double comme la triple expansion qui peuvent s'appliquer très heureusement sans être cependant la cause d'une économie pratique pouvant dépasser 5 à 8 0/0.

Il ne faut pas oublier que, dans ces derniers temps, on a considérablement augmenté la puissance des machines, ainsi que la pression sous laquelle on les fait fonctionner. On a aussi augmenté la détente en même temps que l'on a surchauffé la vapeur des enveloppes; dans certaines machines à double ou à triple expansion, on a interposé des réchauffeurs-surchauffeurs à vapeur entre les cylindres; et, de plus, la circulation étant indépendante, on a rétrogradé sans pertes aux chaudières, et à leur température, l'eau chaude d'extraction ou de purge des enveloppes. Tous ces bons principes ont été appliqués plus ou moins heureusement, avec plus ou moins de sagacité; et, en général, on a attribué bien à tort tous les bons résultats obtenus à ce que l'on appelle le système Compound, attendu que les machines monocylindriques possédant tous les perfectionnements que nous venons d'énumérer donnent avec beaucoup plus de simplicité les mêmes résultats, avec une souplesse et une élasticité que le principe dit compound ne peut avoir.

Enfin, il ne faut pas oublier non plus que les dépenses de vapeur et de combustible constatées pour quelques heures de

marche sans tenir compte des arrêts de nuit, des allumages, des alimentations au repos, etc., sont loin de pouvoir être admises comme vraies et réelles.

En effet, la grande majorité des industriels vous dira que, quand on divise le total du combustible consommé annuellement par une machine par le nombre total de chevaux-heure utiles pour une année, on a quatre-vingt-dix-neuf fois sur cent :

$$\frac{Q\ kg}{N\ ch \times J\ \text{jours} \times H\ \text{heures}} = 2\ kg \text{ à } 2{,}5\ kg,$$

alors qu'aux essais, on a trouvé la moitié et même moins.

Moteurs à explosion.

Dans ces derniers temps, les moteurs à explosion, dits *à 4 temps*, ont été considérablement perfectionnés, et sont entrés dans la pratique courante pour des forces de 1/4 de cheval à 50 *ch* (1), avec le gaz de distillation des houilles, dit gaz d'éclairage; et pour des forces de 30 à 250 et 300 *ch* avec le gaz des gazogènes, dit gaz pauvre. Il faut bien noter ici que la force de 250 *ch* est obtenue avec un seul cylindre. Donc, un seul moteur à 4 cylindres peut donner très pratiquement la force de 1 000 *ch*, qui est déjà une très grande unité de puissance pour une station électrique.

Les moteurs à gaz, depuis cinq ou six ans, et construits par plus de vingt-cinq à trente bons constructeurs-mécaniciens en Europe, donnent une utilisation thermique rigoureusement double de celle des machines à vapeur les plus perfectionnées, qui semblent, par leur fini irréprochable, être le dernier mot de l'art du constructeur; et il est admis aujourd'hui que si la plus parfaite des machines à vapeur a un rendement thermique de 10 0/0 *(chose très rare)*, un bon moteur à gaz courant a un rendement thermique de 20 0/0; donc, si on ne considère que les calories dépensées, on admet qu'incontestablement, toutes choses égales d'ailleurs, le moteur à gaz ne dépense, pour produire la même force sur l'arbre de couche, mesurée au frein de Prosny, que la moitié de ce que consomme la machine à vapeur la plus perfectionnée.

Dans l'Europe occidentale, où les gaz naturels et le pétrole

(1) A Aubervilliers (Seine), dans l'usine de M. P. Linet, 3 moteurs à gaz de 90 *ch* forment un groupe de 250 *ch* effectifs fournissant l'énergie nécessaire à toute la fabrication des engrais chimiques, superphosphates, etc., ainsi qu'à l'éclairage.

font défaut, cette économie serait restée purement théorique, si on n'avait eu à sa disposition que du gaz d'éclairage, dont le prix, à l'extrême limite du bon marché, en Angleterre, est encore de 0,06 *f* le mètre cube, au prix de revient au gazomètre. Or, ce prix est l'équivalent de la bonne houille commerciale à 50 *f* la tonne, qui, en moyenne, ne revient sur les lieux de consommation qu'à 12, 15, 20 et 25 *f* au plus; dans ces conditions, sauf dans de rares exceptions, les moteurs à gaz de grande puissance ne pouvaient entrer en concurrence avec les bonnes machines à vapeur.

Mais, depuis quelque temps, on fait marcher les grands moteurs à gaz, au gaz des gazogènes. Or, ces appareils, bien construits, rendent de 80 à 85 0/0 du calorique disponible, au gazomètre; c'est-à-dire que l'accumulateur-gazomètre reçoit sous forme de gaz à 0° et 760 *mm*, 80 à 85 0/0 du calorique que possédait le combustible solide *(houille, etc.)*, qui a été transformé en gaz combustible des gazogènes *(dit gaz pauvre)*, alors que les meilleures chaudières à vapeur n'ont qu'une utilisation thermique de 75 0/0 *(chose très rare)* et même 60 0/0 seulement de rendement pratique pour une utilisation courante d'une bonne moyenne. Comme on le voit, la transformation du calorique d'un combustible solide en vapeur ne donne aux chaudières courantes et industrielles que 60 0/0 de ce calorique disponible pour les machines à vapeur, alors que la transformation en gaz donne 80 0/0 disponible aux gazomètres *(même avec des gazogènes très ordinaires)* pour les moteurs à gaz.

Le gazomètre, d'un autre côté, est un bien meilleur accumulateur qu'une chaudière, car les plus grosses chaudières à bouilleurs ne peuvent accumuler que le calorique de une ou deux heures de marche *(de combustion ou chauffe)*, malgré leur immense volume d'eau, que l'on peut porter de 6 *kg* à 12 *kg* et 15 *kg*, pour la laisser tomber ensuite, pendant le travail utile, de 15 *kg* à 6 *kg*; tandis que le gazomètre bien fait peut contenir du gaz pendant un temps illimité, sans fuite appréciable et sans perte aucune de la valeur calorifique qu'il a reçue; de sorte qu'au besoin un gazomètre peut remplacer très avantageusement les piles secondaires dites accumulateurs électriques *(accumulateurs de l'énergie électrique)*; en effet, des gazogènes peuvent produire du gaz d'une façon continue et constante. Ce gaz se rend dans un grand gazomètre qui l'accumule *sans perte aucune* pour un ou plusieurs moteurs à gaz, suivant les besoins du service auquel le gaz est destiné, et en telle quantité que ce service peut réclamer pendant 1, 2,

3, 5, 8, 12 ou 15 heures; ce gazomètre faisant tout à la fois fonction d'accumulateur, de récepteur et de régulateur.

Il résulte de tout ce qui vient d'être dit que les appareils générateurs de gaz *(gazogènes)*, avec leurs gazomètres, constituent les moyens les plus simples et les plus pratiques d'engendrer l'énergie électrique et de l'accumuler indirectement, il est vrai, mais sans aucune perte de calorique, donc de travail ou d'énergie.

D'un autre côté, les gazogènes présentent encore dans la pratique industrielle le moyen d'entrer en fonctions sans perte de plus de 1/4 d'heure de mauvaise production de gaz, après un arrêt d'une nuit ou d'un jour; soit 4, 6, 10 ou 16 heures sur 24, et beaucoup plus, puisqu'en soufflant pendant une heure un gazogène, nous avons pu le remettre en bonne allure après un arrêt complet de 12 jours. Donc, si, en moyenne, il faut 1/4 d'heure pour mettre en fonction un gazogène après un arrêt de 12 à 15 heures, la perte due à la remise en action n'est que $\frac{1/4}{12} = \frac{1}{48} = 2\ 0/0$ environ, alors que la remise en pression d'une chaudière coûte au moins 15 0/0 en bonne pratique industrielle pour les chaudières marchant 10 à 12 heures par jour (de 24 heures), et 25 0/0 pour les chaudières ne fonctionnant que 6 à 7 heures, et même moins en été, pour le service de l'éclairage électrique par exemple.

Moteurs à gaz.

Nous n'entrerons pas plus dans la description des moteurs à gaz que dans celle des machines à vapeur, ces appareils faisant partie de l'art du constructeur, et sortant du cadre que nous nous sommes tracé. En ce qui concerne la construction de ces appareils, on peut consulter à cet effet les ouvrages spéciaux; mais toutes les consultations à ce sujet prouveront que les machines à vapeur les plus parfaites, considérées comme le dernier mot des mécaniciens *(en ce qui concerne l'utilisation de la vapeur)*, ont un rendement thermique de 10 0/0 seulement, alors que les moteurs à gaz courants atteignent 20 0/0. Donc, il est tout naturel de conclure que les moteurs à gaz font une économie de 50 0/0 sur les meilleures machines à vapeur.

Pour terminer, nous ferons remarquer que la mise en marche des gros moteurs à gaz présente quelques difficultés et réclame des appareils dits de mise en marche, avec lesquels il faut souvent trois à cinq minutes pour obtenir la vitesse normale de rotation.

Mais, quand les moteurs à gaz doivent donner le mouvement

à des dynamos, il suffit d'avoir une batterie d'accumulateurs capable d'emmagasiner l'énergie de dix minutes de fonctionnement à vide desdits moteurs et de renverser le courant. Alors les dynamos deviennent motrices et font tourner à vide les moteurs à gaz.

Il n'y a plus qu'à ouvrir les robinets de gaz et les moteurs sont en marche.

En un tour de main, on coupe la communication avec les accumulateurs et on rétablit le courant normal.

Comme les installations de moteurs à gaz alimentés au gaz pauvre *(gaz des gazogènes)* sont encore peu connues, nous allons en faire une description complète.

Le gazogène A se compose d'un cylindre de tôle qui contient la garniture K en briques réfractaires qui est séparée de l'enveloppe par une couche de sable L destinée à atténuer la déperdition de chaleur *(fig. 66)*.

Le charbon est versé par la trémie MN dans l'intérieur du gazogène et vient porter sur la série de grilles C. Des barreaux obliques DDE empêchent ce charbon de tomber dans le cendrier et laissent filtrer l'air au travers du charbon porté au rouge.

Un robinet à eau placé en W laisse tomber un mince filet d'eau dans le barreau creux E, l'eau qui se trouve chauffée dans ce barreau retombe en gouttelettes dans le cendrier.

Sous l'action du rayonnement du foyer et des grilles, cette eau du cendrier est en partie vaporisée et la vapeur pénètre la masse incandescente. L'excès de cette eau s'écoule en dehors en J.

Un faible excès d'eau est nécessaire pour que l'on puisse être assuré qu'il en entre suffisamment.

Un ventilateur mû par la machine envoie un courant d'air sous le foyer; cet air pénètre en H et entraîne avec lui la vapeur d'eau; il se produit de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène et des hydrocarbures qui, mélangés à l'azote de l'air, donnent un gaz de la composition moyenne suivante :

H	—	20,00	45 0/0
CO	—	21,00	
C^2H	—	3,50	
C^4H^4	—	0,50	
O	—	0,50	55 0/0
CO^2	—	5,00	
Az	—	49,50	
		100,00	

Le gaz ainsi composé porte le nom de gaz pauvre, parce qu'il est d'un pouvoir éclairant très faible et ne peut servir qu'à la force motrice et au chauffage.

Son pouvoir calorifique est de 1 500 calories environ.

Sa composition et son pouvoir calorifique sont variables suivant les charbons employés. L'analyse dont nous donnons plus haut les chiffres a été obtenue avec du gaz produit par de l'anthracite du Pays de Galles. Avec des appareils perfectionnés, la plupart des charbons maigres donnent un gaz analogue.

Au sortir du gazogène, le gaz s'écoule par le conduit S et pénètre au laveur B ; il doit vaincre la faible résistance du joint hydraulique T destiné à empêcher tout retour du gaz vers le gazogène. Le gaz traverse ensuite une colonne de coke retenue par les grilles VV, il s'y débarrasse de ses poussières et se refroidit au contact de l'eau tombant en pluie du siphon Z et de son disque dentelé.

Le gaz lavé et refroidi se rend ensuite au gazomètre par le tuyau Y pendant que l'eau s'écoule au dehors en U.

Une porte X permet de changer le coke lorsqu'il est saturé de poussières, cela ne se fait que tous les deux ou trois mois ; ce coke n'est pas perdu, il est mélangé au combustible du gazogène.

Le gazomètre sert de réserve de gaz, il est toujours plein et permet la mise en route immédiate ; le ventilateur peut ainsi souffler quelque temps pour ramener le gazogène, arrêté la veille, à sa température de marche courante. Sur l'arrivée de l'air du ventilateur au pied du gazogène se trouve une clochette I qui est reliée au haut du gazogène par un fil de fer.

Lorsque la cloche à gaz est pleine, c'est-à-dire arrivée au haut de sa course, elle agit par le fil de fer sur la clochette qu'elle soulève, l'air arrivant du ventilateur s'échappe au dehors et la production cesse ou ne se fait que proportionnellement à la hauteur de la levée de la clochette.

De cette façon, le gazogène ne produit exactement que ce qui est nécessaire au fonctionnement du moteur, et ce réglage, entièrement automatique, maintient la consommation de charbon proportionnelle à la force produite.

La charge du gazogène se fait en marche, tous les quatre ou six heures, selon les dimensions de l'appareil. Il faut, pour cela, soulever le couvercle N, remplir la trémie de charbon, refermer ce couvercle et faire basculer le cône M au moyen du contrepoids pour introduire la charge dans le foyer. Toutes les vingt-quatre

heures, l'on ouvre la porte F pour retirer la cendre du foyer et piquer le feu entre les barreaux DD.

Comme l'on voit, la conduite de ces appareils étant automatique et ne demandant aucun soin spécial, ils ne nécessitent qu'une surveillance très courte, ce qui atténue la main-d'œuvre dans une grande proportion. Un homme chargé d'une installation de ce genre peut être occupé à autre chose dans la journée, il n'a, toutes les quatre ou six heures, qu'à venir jeter du charbon dans la trémie et à remplir les graisseurs du moteur.

D'autre part, comparée à la conduite d'une chaudière à vapeur, celle du gazogène n'est pas susceptible des mêmes frais : pas de fuites à craindre, puisque le gaz ne se trouve dans le gazomètre qu'à une pression très faible, pas de rupture de tuyaux, de coups de feu, d'explosions, de décrassages coûteux.

Lorsque l'on arrête le moteur, on doit aussi arrêter le gazogène ; pour cela, on entr'ouvre la clochette de la prise d'air en un point déterminé et on ouvre légèrement la vanne P. Il s'établit un léger courant d'air dans le gazogène pendant les heures d'arrêt, ce qui réduit au minimum la consommation, tout en maintenant le feu allumé pendant un ou deux jours consécutifs si cela est nécessaire. A la mise en route suivante, le ventilateur n'a plus qu'à souffler de l'air quelques instants pour amener le foyer à la température convenable à la production du bon gaz.

L'anthracite anglais qui était uniquement employé à la production du gaz pauvre n'est plus indispensable aujourd'hui, et, avec ces appareils, on peut employer des charbons maigres de Vicoigne-Nœux, d'Anzin, de Messeix, de Graissessac et de Cessous, du Creusot, etc., qui ont donné d'excellents résultats. Ces charbons revenant à un prix très inférieur à l'anthracite, ils se recommandent tout naturellement dans les régions du Nord, mais ils ne sont pas les seuls utilisables et bien d'autres charbons maigres peuvent être employés dans les régions qui les fournissent.

NOTES

DE

NOS CORRESPONDANTS ET MEMBRES

DE PROVINCE ET DE L'ÉTRANGER

SUR LA DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE

DE LA

TENSION DES TIRANTS DANS LES VOUTES

D'APRÈS

l'Ing. G. G. FERRIA, de Turin

PAR

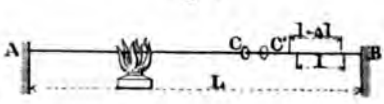
M. D. FEDERMAN.

Pour déterminer les conditions de stabilité des voûtes, il faut connaître les forces qui agissent sur celles-ci, et parmi ces forces sont les tensions des tirants qui y sont appliquées. Le but de la présente note est de démontrer comment on peut déterminer expérimentalement les tensions *actuelles* de ces tirants dans une voûte quelconque déjà construite.

I

Soit AB = L *(fig. 1)*, l'axe d'un tirant que nous supposerons avec extrémités inamovibles et composé de deux pièces AC et BC jointes en chaine par un anneau rigide C de nature telle qu'elle empêche toute transmission de chaleur d'une pièce à l'autre.

Fig. 1.



Évidemment, quelle que soit la tension, constante ou variable, de l'une des deux pièces, elle se transmet par la voie de l'anneau C en toute son intégrité à l'autre pièce, de telle sorte que cette tension reste toujours égale d'un bout à l'autre du tirant.

Cela posé, il est évident que si nous chauffons la pièce AC, elle se dilatera, et, puisque l'extrémité A est inamovible, l'extrémité C devra se mouvoir vers B, l'anneau cohibant C en fera autant

vers B, la pièce BC se raccourcira, sa tension ira en décroissant, et, par conséquent, la tension de tout le tirant diminuera. Il en résulte que, en continuant à chauffer, il arrivera un moment où la tension s'annulera, et, à partir de ce moment, l'anneau C, qui est joint en chaîne aux deux pièces, cessera de se mouvoir.

Si alors nous appliquons sur la pièce froide BC, sur une longueur l et de section constante ω, un micromètre propre à mesurer les variations de longueur sur cette partie et qu'ensuite nous laissions refroidir AC, celle-ci reviendra peu à peu à sa longueur primitive. L'anneau C retournera en arrière, la pièce BC s'allongera, sa tension augmentera, et, avec elle, celle du tirant tout entier. Dans l'instant même où la température de la pièce AC aura atteint sa valeur initiale, les pièces AC et BC auront repris leurs longueurs initiales et la tension du tirant sera celle qu'il avait primitivement. C'est cela que l'auteur se propose de déterminer et il en sera de même pour les deux pièces AC et BC.

Évidemment la longueur l aura subi un allongement Δl compatible avec l'aire de la section, la grandeur de la tension du tirant et l'élasticité de la matière dont il est formé. C'est pourquoi, appelant T la tension et E le coefficient d'élasticité, nous devrons avoir :

$$T = \frac{\Delta l \ \omega E}{l},$$

qui sera la valeur cherchée.

C'est là le procédé sur lequel se base la détermination en question. Il présuppose qu'il se présente certaines circonstances que nous passerons en revue en les démontrant possibles pratiquement.

II

a) *Tirant découvert.* — Dans les constructions architectoniques modernes on ne met plus les tirants en vue, mais on les dissimule entre l'intrados des voûtes et le plancher supérieur. Il faut cependant les laisser libres dans leurs mouvements, ce que l'on peut toujours faire sans nuire à la voûte.

b) *Inamovibilité des têtes du tirant.* — Quand la voûte est de construction récente, il peut arriver que, pendant la dilatation du tirant, la tête en suive le mouvement, ce qu'il faut éviter pour ne pas nuire à la construction.

Il n'en est pas ainsi lorsque la voûte est déjà consolidée, parce qu'alors avec la diminution de tension du tirant, il se développe

des actions internes dans la construction qui en prennent en quelque sorte la place et maintiennent la voûte en équilibre presque toujours assez longtemps pour faire l'expérience.

D'autre part, si même le tirant s'allongeait quelque peu par un affaissement éventuel de la voûte, lequel s'arrêtât ensuite, permettant au tirant de perdre toute tension (à part le dégât possible de la voûte qu'il faut éviter), le résultat final n'en serait nullement altéré, parce que l'excès d'allongement ne peut survenir que dans la partie chauffée et non dans la partie froide qui se rétrécit. En effet, il serait impossible que sans variation de température on eût en même temps une tension T nulle et un allongement Δl fini. Le micromètre, cependant, ne pourrait en tout cas que marquer la dilatation Δl due à la tension réelle du tirant.

c) *Union en chaîne et cohibance de l'anneau. Tirants d'une seule pièce.* — En réfléchissant au principe sur lequel repose le procédé en question, on s'aperçoit que l'union en chaîne des deux pièces AC et BC a seulement une importance par ce fait que, arrivé à l'instant où la tension a disparu, si l'on continue à chauffer la partie AC, celle-ci n'exerce plus aucune action sur BC; par conséquent, la longueur l ne subit plus aucune variation.

Or, on peut obtenir ce résultat avec la plus grande approximation même avec un tirant d'une seule pièce.

Tout d'abord il faut que l'invariabilité de la température soit maintenue dans la seule partie l où l'on mesure les variations de longueur; chose facile à obtenir en enveloppant cette partie l dans une circulation continue d'eau à la température constante de l'air ambiant.

En second lieu, il est évident que lorsque la tension, à force de diminuer, est réduite à zéro, si l'on continue à chauffer le tirant d'une seule pièce, à la tension succède une pression et le tirant se tord, comme cela arrive aux solides très longs chargés en tête. Chaque section droite subit des déviations longitudinales beaucoup moindres que celles normales, et, dans le cas qui nous occupe, absolument négligeables (1).

Si le micromètre est construit de manière à ressentir les dévia-

(1) L'effort minimum nécessaire pour produire une flexion dans un solide prismatique, chargé à l'extrémité et avec les centres des bases courant le long de l'axe, est donné par la formule :

$$P = 4\pi^2 \frac{EI}{L^2},$$

où EIL ont les significations que nous leur avons déjà données. Pour se faire une idée de l'exiguïté des déviations longitudinales que produirait ce même effort dans le cas d'un tirant ordinaire, prenons, par exemple, celui expérimenté à la môle Antonelliana, du-

tions *le long de l'axe* du tirant et non celles *normales*, il s'ensuivra que pour tout le temps pendant lequel il y aura pression dans le tirant et, par conséquent, flexion, le micromètre restera inactif. De telle sorte que, à la fin de l'expérience, l'instrument n'aura signalé que les variations de longueur dues à la tension.

d) *Chauffage du tirant et mesure micrométrique.* — Comme on le voit, le procédé proposé par l'Ingénieur Ferria consiste dans la restitution à la partie l du tirant de cette variation Δl que nous pouvons imaginer lui avoir été initialement soustraite pour produire la tension T. Pour cela, l'auteur se propose de chauffer la partie restante $L - l$ suffisamment pour produire l'allongement Δl, et alors, appelant t^o l'augmentation moyenne de température et α le coefficient de dilatation du métal, on devra avoir :

$$t^o \alpha (L - l) = \Delta l,$$

d'où :

$$t^o = \frac{\Delta l}{\alpha (L - l)},$$

et il en résultera :

$$\Delta l = \frac{Tl}{\omega E}.$$

Le minimum de l'augmentation t^o de température nécessaire pour faire l'expérience croît donc directement avec la tension T du tirant et inversement avec la longueur $L - l$ qui s'échauffe. Dans les cas pratiques, cette limite peut être rendue assez petite pour que l'expérience se fasse aisément.

En effet, pour un tirant en fer long de 5 *m* sous une tension de 15 *kg* par millimètre carré, par exemple, en prenant $\alpha = 0{,}0000124$, $E = 20\,000$ *kg* par millimètre carré et un micromètre d'une longueur $l = 1$ *m*, on trouverait :

$$t^o = \frac{\frac{15}{E}\, 4\,000}{0{,}0000124\,(5\,000 - 1\,000)} = 15^o$$

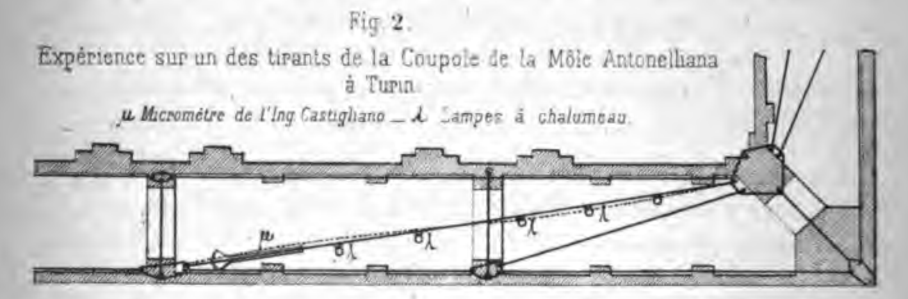
avec une très grande approximation; augmentation de température facile à obtenir avec quelques lampes à chalumeau.

quel il est question plus loin, à la page 882 Pour ce tirant on aura $E = 20\,000$, $I = 22\,518$, $L = 8\,500$, d'où il résulte $P = 244$ *kg*. La section du tirant étant de 55 *mm* × 17 *mm*, la pression par millimètre sera de $\frac{244}{55 \times 17} = 0{,}26$ *kg*. Or, le raccourcissement qu'une telle pression pourrait produire sur la longueur $l = 1$ *m* serait à peine de $\frac{1\,000 \times 0{,}26}{20\,000}$ 0,013 *mm*; c'est-à-dire de beaucoup inférieur à l'approximation que donnerait un micromètre de 1 *m* de long gradué à $\frac{1}{20}$ de millimètre, comme sont ceux qu'on a coutume d'employer pour la mesure des variations de longueur des fers dans les constructions.

III

Expérience à la môle Antonelliana. — En suivant le procédé exposé ci-dessus, l'Ingénieur Ferria a déterminé le degré de tension de l'un des tirants de la *grande coupole de la môle Antonelliana*, de Turin, à la hauteur du second promenoir, côté Nord, le 8 juillet 1893. Le tirant avait une longueur de 8,50 *m*, sa section 55 *mm* × 17 *mm*; il fut enveloppé sur 1,50 *m* de long dans un étui de toile cirée, où circulait de l'eau à + 20°, température ambiante. Le micromètre employé était du type de l'Ingénieur Castigliano, long de 1 *m*, gradué à $\frac{1}{20}$ de millimètre. Le chauffage fut opéré au moyen de cinq lampes à chalumeau à benzine. La figure 2

Fig. 2.
Expérience sur un des tirants de la Coupole de la Môle Antonelliana à Turin.
μ Micromètre de l'Ing. Castigliano — λ Lampes à chalumeau.



donne le schéma de l'expérience. La tension trouvée dans le tirant fut de 5 *kg* par millimètre carré, c'est-à-dire, au total, de 5 × 17 × 55 = 4 675 *kg*.

IV

Variations de la température des tirants avec les saisons. — Il est notoire que dans les voûtes bien consolidées, les tirants sont beaucoup plus tendus en hiver qu'en été ; c'est-à-dire que pendant le passage de la saison froide à la saison chaude la tension des tirants diminue assez notablement, sans que pour cela il se présente des lésions dans les voûtes. Cela confirme l'opinion émise plus haut que l'on peut faire, en général, les expériences dont nous avons parlé, sans nuire à la stabilité des constructions. Cependant, il est prudent de ne jamais éprouver plus d'un tirant à la fois pour ne pas mettre les constructions dans des conditions d'équilibre trop instable.

On sait qu'un fil de fer de 1 mm^2 de section, d'une longueur de 1 *m*, soumis à la tension de 1 *kg*, s'allonge de :

$$\frac{1\,000 \times 1.00}{1.00 \times 20\,000} = 0{,}05\ mm$$

Le même fil par l'élévation de 1° de température, s'allongerait de :

$$1\,000 \times 0{,}0000124 = 0{,}0124\ mm,$$

ce qui équivaut à dire que très approximativement la variation de 4° dans la température d'un tirant produit la variation de 1 *kg* dans sa tension par millimètre carré. Or, si un tirant des dimensions de celui qui a été expérimenté à la môle Antonelliana en été à + 20° se trouve tendu à 5 *kg* par millimètre carré, ce même tirant pourrait être en hiver à — 20° sujet à une tension de :

$$5 + \frac{40}{4} = 15\ kg \text{ par millimètre carré,}$$

laquelle excéderait les limites ordinaires requises pour les bonnes constructions.

Avertissements pour la conclusion sur la stabilité des tirants en œuvre. — Toutefois on ne saurait inférer subitement en un cas pratique que dans de telles conditions de grandeur et de température le tirant soit en conditions périlleuses, parce que la tension de 15 *kg* ainsi déterminée se base sur deux hypothèses : 1° qu'à la température de — 20° le tirant ne se ressent pas des changements dans les conditions statiques de tout l'édifice ; comme il arrive, par exemple, dans la coupole de la môle Antonelliana, où se trouvent des tirants qui, dans l'été, sont à peu près inactifs, alors qu'en hiver ils sont indubitablement très actifs, et peuvent par leur action soulager la tension des autres. 2° Que le coefficient d'élasticité du fer est vraiment E = 20 000 par millimètre carré, chiffre qu'il faudrait connaître exactement pour chaque cas, ou bien trouver moyen de s'en passer.

La première hypothèse est évitée en faisant l'expérience dans les conditions précises de saison et de température pour lesquelles on veut constater la tension du tirant. On évite la seconde hypothèse de la façon suivante :

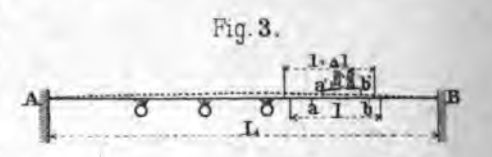
Détermination de la tension du tirant sans l'hypothèse sur la connaissance du coefficient d'élasticité. — Étant établi qu'en général la ténacité, la plasticité et l'élasticité du fer varient avec les variations

de la température (1), et comme chacune de ces propriétés peut influer sur l'allongement du tirant, il pourrait naître un doute de déductions erronées si l'on ne tient pas compte de leur influence. Mais il est facile de voir que cette influence, de même que celle de la mobilité des extrémités du tirant, ne peut se propager à la partie qui reste à une température constante, et ne peut, par conséquent, avoir d'action sur le micromètre qu'on y applique; c'est pourquoi elle ne peut nuire aux résultats.

Au contraire, ce qui nuirait aux résultats, ce serait une erreur de la valeur de E, pour laquelle on n'a, en général, que les moyennes données par les promptuaires.

Mais il est possible en tout cas de déterminer expérimentalement la tension du tirant sans connaître ce coefficient en faisant usage d'un *Ergomètre* capable de donner la loi de dépendance des déplacements des points d'une construction par la grandeur des efforts qui les produisent (2).

Fig. 3.



Pour obtenir ces résultats, on choisit deux points *a* et *b* (*fig. 3*) dans la partie *l* du tirant maintenue à une température constante et l'on procède au chauffage de la partie restante L — *l* jusqu'à complète inaction du tirant. Les deux points se seront rapprochés, prenant deux nouvelles positions *a'* et *b'*. En appliquant alors l'Ergomètre entre ces deux points et le faisant agir jusqu'à ce que ceux-ci soient retournés des positions finales *a'* et *b'* aux positions initiales *a* et *b*, il se produira un effort mesuré par l'instrument, et qui sera évidemment égal à la tension du tirant.

(1) *Ascoli.* — Sulla tenacità e sulla plasticità del ferro a diverse temperature. (*Nuovo Cimento* 1892, fasc. 7 et 8).
Pisati. — Sulla tenacità del ferro a diverse temperature. (*Società italiana delle scienze.* Série III, vol. II, année 1876.)
Pisati. — Ricerche sperimentali sulla tenacità dei metalli a diverse temperature. (*Actes de l'Académie Royale de Lincei*, 1877).
Le Chatelier. — Sulla elasticità dei metalli a diverse temperature (*Gazetta Chimica Italiana*, 1876 et 1877, vol. VI et VII).
Le Chatelier. — Influence de la température sur les propriétés mécaniques des métaux (*Génie civil*, 1891).

(2) *Ergometro per lo studiù della stabilita delle costruzioni e della elasticità dei materiali, dell' Ing. G. G. Ferria.* (Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Turin. Série II, tome XXXVII.)
L'Ecole Royale d'Application des Ingénieurs de Turin possède un exemplaire de cet instrument.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

Paul-Hippolyte LEMONNIER

PAR

M. A. BRÜLL

M. Paul-Hippolyte Lemonnier, décédé à Bougival, le 29 juin 1894, dans sa cinquante-huitième année, était né à Sorèze (Tarn) et faisait partie de la Société des Ingénieurs Civils de France depuis 1871.

A sa sortie de l'École polytechnique, en 1856, il suivit comme élève externe les cours de l'École supérieure des Mines de 1856 à 1859.

Il a débuté dans la carrière industrielle aux mines de charbon de la Grand'Combe, puis a été attaché en qualité d'ingénieur aux mines et fonderies de l'Aveyron, à Decazeville, jusqu'en 1864 et ensuite aux mines de charbon et de fer de Lalle et Bessèges.

Pendant la guerre de 1870, Lemonnier servit à Paris comme officier d'un corps franc de canonniers volontaires. Il s'était associé récemment avec M. L. Sautter, ingénieur-constructeur à Paris, et leurs ateliers travaillèrent activement pour la défense nationale.

L'établissement de MM. Sautter et Lemonnier, fondé en 1825, par M. Soleil, sous la direction d'Augustin Fresnel, pour la construction des phares lenticulaires, restait, depuis 1852, sous la direction de notre collègue M. L. Sautter qui, en 1867, le transporta au Champ-de-Mars.

Dès son arrivée, Lemonnier, comprenant le premier l'importance de l'invention de M. Gramme, conseilla d'entreprendre la construction de sa machine. L'usine reçut une installation d'éclairage électrique lorsqu'il n'y avait encore à Paris que le seul atelier de l'inventeur qui fût ainsi éclairé.

Des machines à lumière furent fournies notamment à la marine et à la guerre pour les phares, les navires et les projecteurs. Le passage de nuit du canal de Suez fut en partie réalisé d'après les études et au moyen des appareils de MM. Sautter et Lemonnier.

Des centaines d'installations ont été ainsi établies par eux de toutes pièces. Ils ont construit des tours en fer, des bouées et des balises, des signaux sonores, des moteurs à pression d'eau, des compresseurs d'air, des turbines à vapeur et quantité de machines diverses.

Pour suffire à ce rapide développement, Lemonnier dépensait sans compter une merveilleuse activité. Il mettait sans réserve au service de l'œuvre commune son talent d'ingénieur, ses hautes qualités d'administrateur, son prestige moral sur le nombreux personnel d'employés et d'ouvriers. Il fut toujours en parfaite harmonie de sentiments et d'idées avec son associé tant dans les moments difficiles que pendant la prospérité.

Voici le témoignage si autorisé que M. L. Sautter est venu porter, le jour des obsèques, sur le fidèle compagnon de vingt-six années de travail :

« Lemonnier était, en toutes choses, l'homme droit et intègre qui n'aime, ne cherche et ne dit jamais que la vérité. L'énergie s'alliait chez lui à la bonté et ceux mêmes qui trouvaient parfois sa main rude étaient obligés de reconnaître qu'au bureau comme à l'atelier, comme dans la conduite générale des affaires, il était toujours guidé par des sentiments de bienveillance et de justice. C'est ainsi qu'il était parvenu à gagner le respect et l'affection de tous, et à conquérir une autorité dont il ne faisait usage que pour la bonne marche, le crédit, le bon renom de la maison, que pour l'utilité et le bien-être de ses collaborateurs.

» Toutes les questions relatives à l'amélioration du sort des apprentis, des ouvriers et des employés, par le maintien d'une discipline à la fois ferme et douce, par une équitable participation aux bénéfices, par l'organisation des caisses de secours et de prévoyance, l'intéressaient au plus haut point.

» Personne n'était plus modeste que lui, plus indifférent aux honneurs et à l'argent, plus simple dans ses goûts et dans sa manière de vivre. »

En dépit de ce détachement et de cette modestie, les éminentes qualités de Lemonnier, l'importance des services qu'il avait rendus, lui avaient valu de flatteuses distinctions. Chevalier de la Légion d'honneur en 1882 à la suite de l'Exposition d'électricité de 1881, membre de divers jurys d'exposition, il fut élu, en 1886, président de la Chambre syndicale des industries électriques en raison de la part prépondérante qu'il avait prise à la fondation et à l'organisation de cette Chambre. Il fut nommé membre du Con-

seil d'administration de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale. La Société internationale des électriciens l'appela en 1888 au fauteuil de la présidence.

Associé dès l'enfance aux pensées et aux actes philanthropiques de son père, le saint-simonien Charles Lemonnier, et de sa mère Élisa Lemonnier, fondatrice de la Société pour l'enseignement professionnel des femmes, il était heureux de prodiguer son temps, ses conseils, sa bourse aux œuvres charitables et aux entreprises utiles au progrès de l'industrie. C'est ainsi qu'il soutint de ses deniers les écoles professionnelles de femmes et qu'il fut le plus généreux des donateurs du nouveau laboratoire d'électricité de la rue de Staël.

Lemonnier a été enlevé trop tôt à l'affection des siens, à l'amitié de tous ceux qui l'ont connu, à la reconnaissance des humbles qui ont si souvent profité de la générosité de ce grand cœur.

La Société des Ingénieurs Civils de France a perdu un de ses membres les plus distingués et elle honorera la mémoire de l'Ingénieur expérimenté, du travailleur passionné pour le progrès, de l'homme loyal et bienveillant qui n'a jamais connu ni l'égoïsme ni l'orgueil.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

L.-H. SAUVAN-DELEUZE

Louis-Hippolyte Sauvan-Deleuze, Ingénieur de la promotion de 1852, sortit dans les premiers de l'École Centrale. Il fut aussitôt attaché à l'entreprise Parent Schaecken pour la construction du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, où, à plusieurs reprises, il se distingua par son courage et son dévouement dans l'exécution de certains travaux des plus difficiles.

Deux ans plus tard il participait à l'exécution de la ligne de Paris-Mulhouse, puis successivement à celle des lignes de Metz-Verdun, du Central Néerlandais et enfin en Espagne à celle d'Almorchon à Belmez.

En 1871 il devient Ingénieur en chef, Directeur des études et travaux de certaines lignes construites en Turquie.

Après avoir, en 1877, installé à Grenelle une des premières fabriques de glace artificielle, il revint aux études de chemins de fer qui avaient déjà rempli son existence et qui l'attiraient bien plus que l'industrie proprement dite.

La Société des Chemins de fer serbes le mettait, en 1881, à la tête de la Direction générale de tout ce qui concernait les études et la construction de ses lignes, situation qu'il occupa pendant trois ans.

Depuis cette époque jusqu'en septembre 1894, date de sa mort, et bien que prenant une part moins active à ces grands travaux, il n'en resta pas moins l'Ingénieur conseil fort apprécié de plusieurs Compagnies (Venezuela, Porto-Rico, Sud de l'Espagne, etc.)

Membre de notre Société depuis 1866, Sauvan-Deleuze était resté fidèle aux amitiés des premiers jours, et tous ceux, amis, supérieurs ou subordonnés, qui l'ont connu, ont regretté cet homme de bien dont la loyauté à toute épreuve ne lui suscita jamais un seul ennemi.

PAROLES PRONONCÉES AUX OBSÈQUES

DE

M. J. BOULET

PAR

M. Auguste MOREAU

Mesdames et Messieurs,

Je ne pensais pas avoir aujourd'hui le triste honneur de prendre la parole sur cette tombe; un autre, beaucoup plus autorisé que moi, notre éminent Président, M. du Bousquet, se proposait de le faire et a dû y renoncer au dernier moment, appelé impérieusement par son service d'Ingénieur en Chef au Chemin de fer du Nord. Il a bien voulu, à l'instant, me déléguer pour le remplacer, en me priant de l'excuser auprès de vous. J'aurai donc à m'excuser moi-même d'être forcément un peu bref, n'ayant pas eu le temps de préparer le véritable discours que méritait le grand mort pleuré par nous tous aujourd'hui.

Au nom de la Société des Ingénieurs Civils de France, je viens donc adresser un dernier adieu à notre pauvre Collègue et ami qui est là, dans ce cercueil, endormi pour jamais !

Boulet faisait depuis quelque temps partie de notre Comité. A la suite des nombreuses et pressantes sollicitations de quelques-uns d'entre nous, il avait consenti à se laisser porter candidat, c'est-à-dire à se laisser nommer. Ce n'est pas sans peine que nous avions décidé ce modeste à sortir ainsi de sa sphère toute de travail et d'effacement, et c'est avec mille prétextes divers, tous plus ingénieux, mais tous aussi des moins fondés, qu'il déclinait cet honneur.

Et cependant quel est l'Ingénieur qui a jamais mérité davantage cette consécration d'une longue carrière toute d'honneur, de travail, de probité?

Nous étions fort heureux, nous, les anciens de ce Comité, d'accueillir un Collègue qui, comme lui, symbolisait si bien l'industrie indépendante, l'initiative privée dont nous nous enorgueillissons d'être les représentants.

Et puis nous nous réjouissions d'ouvrir toutes grandes les portes du Comité à l'un des anciens élèves, les plus distingués des Écoles d'Arts et Métiers, qui comptent trop peu des leurs dans nos rangs, et qui, comme le disait si justement leur Président au dernier banquet de la Chambre syndicale des Mécaniciens, savent si dignement tenir leur place, aussi bien dans les emplois les plus modestes, que dans les situations les plus élevées.

Enfin il ne comptait parmi nous que des amis et il entrait chez nous dans une de ces nombreuses Assemblées, véritables prolongements de sa propre famille, dont il était un des plus brillants représentants.

Aussi, que cette famille nous permette de lui dire que nous n'entreprendrons pas de la consoler; le malheur qui vient de la frapper est de ceux dont on reste à jamais inconsolable. Mais si quelque chose peut apporter un peu d'adoucissement à son immense chagrin, c'est la conviction profonde qu'elle a autour d'elle un grand nombre d'amis sincères et dévoués, au premier rang desquels nous la prions de vouloir bien placer les Membres de la Société des Ingénieurs Civils de France.

CHRONIQUE

N° 180.

SOMMAIRE. — « Le Rapid transit » dans les grandes villes (suite et fin). — Action de l'eau de mer sur l'aluminium. — Obtention de dépôts métalliques sur l'aluminium. — Le pétrole au Pérou. — Une grue mobile de 40 *t*. — Dragues de grande puissance.

Le « Rapid transit » dans les grandes villes *(suite et fin)* (1). — La remorque des trains sur les chemins de fer aériens peut être faite par des locomotives à vapeur comme à New-York, ou au moyen de moteurs électriques comme à Liverpool. Dans les chemins de fer souterrains, on est pour ainsi dire obligé de recourir à la traction électrique ou funiculaire, afin de pouvoir parfaitement aérer les tunnels, sans avoir à se préoccuper de l'évacuation de la fumée des moteurs. Dans les tunnels de la Mersey à Liverpool et de la Severn à Bristol, la traction se fait au moyen de locomotives à vapeur; les machines d'aérage ne font disparaître les inconvénients de la fumée et de la vapeur qu'en provoquant des courants d'air assez forts et assez désagréables pour les voyageurs sensibles. La traction funiculaire est à recommander lorsque les rampes sont très fortes, comme à San-Francisco et à Kansas City.

Un autre inconvénient des chemins de fer souterrains, c'est qu'en règle générale, ils sont assez bruyants; cet inconvénient toutefois peut être atténué en munissant les parois d'un revêtement absorbant le son.

Les chemins souterrains sont grevés de dépenses d'éclairage beaucoup plus considérables que les chemins aériens. Ces dépenses sont surtout élevées lorsque l'on emploie la traction à vapeur et la traction funiculaire.

Enfin, une question qui ne peut être perdue de vue est celle de l'assèchement. Le Comité New-Yorkais de « rapid transit » prétend que la difficulté d'assèchement croit avec chaque pied que le tunnel est descendu plus bas.

Quel que soit le système adopté, aérien ou souterrain, il faut que les dimensions soient, dès l'origine, assez largement conçues, pour qu'on puisse facilement, dans la suite, agrandir les installations. L'expérience prouve qu'on provoque la circulation en lui offrant des facilités. Le métropolitain de Londres, qui ne transportait qne 9,5 millions de voyageurs en 1863, en a transporté 42,7 millions en 1871, 67,6 millions en 1881, et 75 millions en 1891. L'Elevated de New-York avait, en 1884, un mouvement de 96,7 millions de voyageurs. Ce mouvement, pendant les sept années qui ont suivi, a été respectivement de 103,4 — 115,1 — 159 — 179,5 — 185,8 — 196, 7 et 219,6 millions de voyageurs. De même, le Stadtbahn de Berlin, qui n'avait distribué que 13,9 millions de coupons pendant l'exercice 1886-87, en a distribué 27,7, soit à peu près le double, cinq ans après. Pendant le même laps de temps, la vente des billets sur le Ringbahn de Berlin a augmenté de 3,5 à 8,7 millions.

(1) Note de M. de Busschère, publiée dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand*.

Il faut également prévoir que les lignes urbaines doivent pouvoir être prolongées au fur et à mesure que l'agglomération s'étend, et prendre, autant que possible, des mesures en conséquence.

L'exploitation des lignes d'intercommunication urbaine est très désavantageusement influencée au point de vue de l'utilisation du matériel, par le fait que la densité du mouvement varie avec les heures de la journée ; elle varie aussi avec les jours de la semaine, avec les saisons, l'état de l'atmosphère et d'autres circonstances encore.

Les fluctuations du mouvement des voyageurs aux différentes heures de la journée sont mises en évidence par les diagrammes (1) donnés dans un article de M. Kemman, dans les *Archiv für Eisenbahnwesen* de mars 1893 pour la cité de Londres, et dans un autre donné dans une conférence de M. James Croes, au Rensselaer Institute, conférence dont le compte rendu a paru dans le *Railroad Gazette*, pour les quatre lignes réunies du Manhattan Elevated de New-York.

Pour ces dernières, la circulation se répartit d'une manière très inégale comme le montre le tableau ci-dessous, donnant le trafic de la journée du 18 mai 1892.

Lignes.	Voyageurs du centre vers l'extérieur.	Voyageurs de l'extérieur vers le centre.
9me Avenue	39 920	21 890
6me —	94 926	123 935
3me —	116 216	123 534
2me —	32 257	48 394
	283 319	317 753
Ensemble	601 972	

Non seulement le mouvement varie pendant les vingt-quatre heures d'une même journée, mais il n'est pas le même, aux mêmes heures des différentes journées de la semaine ; il est notamment beaucoup moindre le vendredi que les autres jours ouvrables et une des causes est la répugnance qu'ont beaucoup de femmes à se déplacer ce jour-là, pour faire des courses, à cause de sa signification omineuse. Le mouvement varie aussi avec les mois de l'année; il est maximun en décembre et minimum en juillet et août, époque des villégiatures et des vacances.

D'autre part, les circonstances climatériques et atmosphériques, telles que les grandes chaleurs, les grands froids, les pluies peuvent amener aux chemins de fer beaucoup de personnes habituées à se déplacer à pied ou autrement, en temps ordinaire. Il est, en fait, constaté à Londres et aussi à Paris, que les voyageurs qui ordinairement se servent de bateaux à vapeur s'adressent aux omnibus et aux tramways les jours de pluie. Croes rapporte à ce propos qu'un directeur d'une Compagnie de tramvays à chevaux de New-York lui avait dit que, si on pouvait lui indiquer d'avance quels seraient, à un jour donné de l'année, le degré thermomé-

(1) Nous regrettons de ne pouvoir reproduire ces diagrammes qui figurent dans la note de M. de Busschère.

trique et la hauteur du baromètre, il se faisait fort d'indiquer exactement combien il lui faudrait de voitures et d'employés pour satisfaire au mouvement, et cela pour n'importe quelle saison.

Enfin, il y a les fêtes et réjouissances publiques qui peuvent provoquer quelquefois d'énormes mouvements de voyageurs.

Il résulte de là que les chemins de fer urbains doivent avoir un matériel, calculé non pas sur la moyenne des voyageurs, mais suffisant pour satisfaire aux plus forts mouvements des heures de grande affluence. Croes estime qu'eu égard aux circonstances qui se présentent actuellement dans l'exploitation, il faut qu'une ligne urbaine en Amérique dispose d'un matériel double de celui qui est nécessaire pour son trafic quotidien. D'après lui, le plus grand mouvement quotidien qui peut se produire pendant le courant d'une année est double du mouvement quotidien moyen et la circulation à l'heure de la journée où elle est la plus intense est triple de la circulation moyenne pour les vingt-quatre heures. Il est probable que la proportion indiquée par Croes, exacte pour l'Amérique, où en temps ordinaire on se déplace beaucoup, est insuffisante pour les villes d'Europe où l'on a des habitudes plus casanières. Nous croyons qu'à Bruxelles, notamment, certaines fêtes au Bois de la Cambre ont donné lieu à un mouvement de voyageurs beaucoup plus considérable que le double du mouvement quotidien moyen de l'année. Quoi qu'il en soit, nous ferons remarquer qu'en 1891 l'Elevated de New-York, qui n'a qu'un réseau de 52 *km*, avait 321 locomotives et 1 021 voitures; le nombre de trains-kilomètres avait été de 132 millions. Le Stadtbahn, de Berlin, dont la longueur est de 12,85 *km*, a eu pendant cette même année 1891, avec un effectif de 87 locomotives et 320 voitures, un parcours de 3,1 millions de trains kilomètres.

L'expérience acquise, jusqu'à ce jour, n'indique pas qu'il y ait un avantage quelconque à adopter pour la voie un écartement moindre que celui des lignes ordinaires, peu importe la manière dont la ligne est établie, c'est-à-dire qu'elle soit aérienne, souterraine ou même de niveau. Il semble, au contraire, qu'il est préférable d'adopter le même écartement, ce qui permet de donner plus de capacité aux voitures et de transporter un nombre plus grand de voyageurs dans des trains plus courts. A titre de renseignements, nous dirons que les voitures de l'Alley-Road, de Chicago, peuvent contenir 58 personnes assises. Un train de 5 voitures peut donc, en comptant les personnes debout, transporter plus de 300 voyageurs. On ne doit pas, dans l'examen de ce détail d'une grande importance, se préoccuper outre mesure de la question du raccordement des lignes urbaines avec les grandes lignes ayant leur terminus dans l'agglomération, car, ainsi que le dit très bien l'auteur de l'article du *Quarterly Review*, les inconvénients du changement de voitures sont insignifiants lorsqu'on n'a affaire qu'à des voyageurs ayant rarement des colis de quelque poids avec eux. On peut toutefois tenir compte de ce que, sur les lignes véritablement urbaines, les trajets effectués étant courts, les voitures peuvent être moins larges, moins élevées et moins confortables et partant plus légères que celles des autres lignes. On peut donc, tout en adoptant, comme à New-York, ou même dans le nouveau chemin de fer électrique de

Berlin, le même écartement de rails, de façon à permettre au besoin l'échange des voitures, avoir une superstructure moins solide ou des tunnels moins larges, suivant qu'il s'agit de lignes aériennes ou souterraines. De là une sérieuse économie dans la construction et l'armement.

Les voitures sont du type à compartiments sur le Métropolitain de Londres et le Stadtbahn, de Berlin; elles sont du type à couloir partout ailleurs et aussi sur le nouveau Métropolitain de Liverpool. L'énorme mouvement auquel l'Elevated, de New-York, doit satisfaire et qui est trois fois plus grand que celui du Métropolitain de Londres, prouve que le matériel à couloir est particulièrement favorable à ce genre de transport. Sur les chemins urbains de Sidney qui font partie du réseau appartenant à l'Etat des Nouvelles-Galles du Sud, le gouvernement a substitué en 1888 le matériel à couloir à celui à compartiments comme plus favorable à une exploitation de banlieue.

Les trains urbains de Sidney sont composés actuellement de six voitures à couloir sur trucks, dont trois de première classe et trois de seconde. Ces voitures ont 58 places assises, sauf la première et la dernière, qui ont un compartiment pour le garde et n'ont que 52 places. Le poids mort par voyageur est de 700 *lbs* (317 *kg*), tandis qu'avec le matériel à compartiment précédemment employé, le poids mort était de 274 *kg* en 1[re] classe et 205 *kg* en 3[e] classe.

Ce désavantage du plus grand poids mort est, d'après l'exposé du gouvernement colonial, compensé par les avantages suivants : 1° les coupons peuvent être délivrés et contrôlés en cours de route, ce qui permet de réduire le personnel de bureau dans les stations ; 2° il n'y a pas de portières à ouvrir et à fermer, de sorte que le chef de train, en jetant un coup d'œil sur celui-ci dans les stations, n'est pas exposé à ce qu'une portière ouverte lui masque les voyageurs montant ou descendant; il est donc plus sûr que tout est en ordre lorsqu'il donne le signal de départ; 3° les voyageurs peuvent plus facilement se tenir debout dans une voiture dont toutes les places assises seraient occupées et attendre qu'une d'elles y devienne disponible.

En ce qui concerne le nombre des classes, il convient de le limiter autant que le permettent les habitudes de la population à desservir et de ne pas trop spécialiser les compartiments. Aux États-Unis, il n'y a qu'une classe; à Londres, le Métropolitain a des voitures des trois classes. Nous croyons que, pour Bruxelles, il suffirait d'avoir des deuxièmes et troisièmes classes et seulement des compartiments pour fumeurs et des compartiments pour non-fumeurs.

Quel que soit le mode de traction employé, il faut que les moteurs soient construits de façon que leur démarrage soit facile et que le train acquière rapidement sa pleine vitesse. A ce point de vue, il convient de ne pas exagérer la longueur des trains; il est indispensable en outre que ceux-ci soient munis de moyens d'enrayement pour ainsi dire instantanés.

Les lignes urbaines doivent nécessairement être armées de block-system et être subdivisées en sections assez courtes, de façon à pouvoir permettre aux trains de se succéder assez rapidement. Le 12 octobre

1892, lors des fêtes de Colomb, à New-York, la ligne de la 6[me] Avenue, longue de 17,2 *km*, a été parcourue pendant les vingt-quatre heures de la journée par 1 242 trains, soit 621 dans chaque sens, espacés par conséquent en moyenne de deux minutes environ. Aux heures actives de la journée, cet espacement a été à peine égal à *une minute* (1).

La plus grande difficulté avec laquelle les chemins de fer urbains ont à compter est celle de l'équilibre de leurs dépenses et de leurs recettes. Nous pouvons, à cet égard, renvoyer à ce qui a été dit relativement aux lignes souterraines proposées pour Londres. Croes, dans son mémoire, dit qu'à Londres et à New-York où le coût de construction des lignes urbaines est si élevé, et le prix perçu par voyageur si faible, le problème consistant à mettre d'accord les intérêts opposés qui s'agitent autour de ces questions a été pendant des années un véritable casse-tête pour les financiers et les faiseurs de lois. Quoi qu'il en soit, les tarifs sur ces chemins de fer doivent nécessairement être bas puisque ce sont les classes populaires et moyennes qui fournissent la très grande masse de voyageurs. Cela est surtout indispensable dans les villes où il y a concurrence avec des industries similaires, tramways de rues, omnibus de pavé, etc.

Enfin ce qui s'est passé à Londres à propos des nouvelles lignes urbaines et aussi à New-York, où la nécessité de nouvelles lignes se fait vivement sentir, nous amène à émettre l'avis que les autorités publiques qui ont à se prononcer sur les projets de « rapid transit » proposés par l'initiative privée ne doivent pas se préoccuper du but mercantile que les auteurs ont en vue et vouloir en profiter pour leur imposer des exigences draconiennes qui ont pour effet, comme le disait la *Review*, de tuer dans l'œuf la poule qui doit pondre les œufs d'or. On ne pourrait en donner de meilleure preuve qu'en faisant remarquer que jusqu'à ce jour aucun des projets purement urbains de Londres, dont la *Review* s'est occupée, n'a pu réunir le capital nécessaire, et que plusieurs ne sont pas même venus en discussion au Parlement anglais.

Les autorités doivent se placer à un point de vue plus élevé et se dire qu'en facilitant les communications entre le centre et les limites de l'agglomération, elles s'inspirent des véritables intérêts de la classe travailleuse et moyenne. Elles concourent ainsi, dans la limite de leurs attributions, à des mesures qui ont pour effet de permettre aux ouvriers de conserver le travail rémunérateur des grandes villes, tout en se logeant dans les localités suburbaines où ils trouvent des habitations salubres, confortables et à bon marché.

Elles pourront ainsi se livrer plus facilement à des travaux d'assainissement de quartiers et supprimer ces impasses où les ménages s'entassent les uns sur les autres et qui sont non seulement des refuges pour le vice et le crime, mais encore des foyers d'épidémie.

(1) Pendant les trois journées de fêtes de New-York, c'est-à-dire les 10, 11 et 12 octobre 1892, les diverses lignes du Manhattan ont été parcourues ensemble par 11 888 trains et ont transporté 2 921 864 voyageurs. Il n'y a eu qu'un accident à enregistrer ; un train qui n'a pu respecter un signal et est venu tamponner un autre train. Plusieurs voyageurs furent blessés, mais assez légèrement seulement.

Action de l'eau de mer sur l'aluminium. — D'après les journaux américains, des essais tout récents faits par la marine des Etats-Unis en vue de l'application de l'aluminium à la construction des coques de navires auraient démontré que l'utilité de ce métal pour cette application serait considérablement atténuée par son altérabilité à l'eau de mer.

Deux feuilles métalliques ont été immergées pendant trois mois à l'arsenal de Norfolk ; ces feuilles avaient 1,5 *mm* d'épaisseur et étaient l'une en aluminium pur, l'autre en aluminium contenant une légère proportion de nickel. Lorsqu'on retira ces feuilles, on trouva la première recouverte d'une couche épaisse de coquilles et le métal plus ou moins piqué; l'autre avait moins de coquilles, mais était rongée et perforée. Cette dernière avait été attaquée comme un composé de fer et de cuivre l'aurait été dans le même milieu, ce qui indiquerait une action galvanique. En tout cas, la supposition que les coquilles n'adhèrent pas à l'aluminium est démentie par l'expérience; d'ailleurs, le fait seul d'une forte attaque par l'eau salée semble devoir exclure l'aluminium de la construction des bâtiments de mer.

Ces faits paraissent en contradiction absolue avec des essais faits en Angleterre et dans lesquels on a remplacé par de l'aluminium deux feuilles du doublage en cuivre d'un navire en bois qui a fait le tour du monde dans ces conditions. Les feuilles d'aluminium pesées avant et après le voyage n'ont pas perdu de leur poids d'une manière appréciable. On ne dit pas quel a été l'effet au point de vue des coquilles. Il est à remarquer que dans les essais des États-Unis on n'a pas employé l'aluminium allié d'une faible proportion de cuivre qu'on emploie en Europe pour cette application, de sorte que c'est peut-être, au moins jusqu'à un certain point, la non-similitude des matières employées qui peut expliquer la différence des résultats obtenus.

Obtention de dépôts métalliques sur l'aluminium. — Pendant que nous sommes sur le sujet de l'aluminium, nous croyons devoir reproduire ici la note suivante adressée à la Société par notre collègue M. Hart, auteur d'un travail sur les applications de ce métal, travail qui a été publié dans le *Bulletin* de novembre dernier, pages 601 et suivantes.

M. Goltig vient de faire connaître un procédé pour l'obtention de dépôts métalliques sur l'aluminium. Ce procédé consiste à plonger l'aluminium qu'on veut recouvrir dans une solution concentrée du métal à déposer en le frottant à l'aide d'une substance formant avec l'aluminium et la solution saline une chaîne voltaïque dans laquelle l'aluminium joue le rôle de pôle négatif.

Le dépôt s'opère d'autant mieux que l'aluminium est rendu plus électro-négatif. Quand ce métal est fortement négatif, le dépôt du métal étranger peut s'accroître par immersion simple dans une solution de ce métal.

Pour obtenir un dépôt de cuivre, par exemple, sur l'aluminium, il faut plonger ce dernier dans une solution moyennement concentrée de sulfate de cuivre et le frotter dans la liqueur avec de la craie en poudre.

Le dépôt se fait alors plus régulièrement sur l'aluminium et y est adhérent.

Dès qu'on a obtenu une mince couche de cuivre, il suffit de plonger la pièce dans une solution étendue de sulfate de cuivre pour voir le dépôt s'accroître régulièrement.

Pour obtenir un dépôt d'étain, l'aluminium doit être plongé dans une solution moyennement concentrée de sel stannique (du chlorostannate d'ammoniaque, par exemple) en évitant de le toucher à l'aide d'instruments en cuivre, car alors le dépôt s'opère sur ce dernier métal. Cette dernière propriété permet d'obtenir deux dépôts superposés de cuivre et d'étain.

Le pétrole au Pérou. — Un article de M. Carlos B. Cisneros, consul du Pérou, inséré dans le *Bulletin de la Société de Géographie commerciale de Bordeaux*, donne d'intéressants détails sur la production du pétrole au Pérou, que la richesse de ses gisements placeraient au rang des principaux pays producteurs de ce précieux combustible.

Ces gisements se rencontrent dans plusieurs endroits du vaste territoire péruvien ; les plus importants et les seuls exploités jusqu'ici sont dans le département de Piura ; on évalue leur superficie à 32 000 km^2 et ils présentent le très grand avantage de se trouver à une faible distance, 16 *km* au plus, de l'océan Pacifique.

On trouve dans cette zone un certain nombre de mines en activité et d'autres en travaux d'exploration, qui ne tarderont pas à se transformer en centres importants de production. Cette région est appelée à prendre un grand essor, attendu que le pétrole se manifeste presque à la superficie du sol, parfois à 30 pieds, sans qu'on ait besoin de pousser les sondages à 2 000 pieds, comme il arrive communément en Pensylvanie et en Russie. Les puits les plus profonds au Pérou n'atteignent pas 800 pieds. Dans ces parages, le forage est d'autant plus facile que le terrain est composé, jusqu'à la profondeur de 150 pieds, de sables, d'argiles imperméables, de conglomérats et d'ardoises, et que la main-d'œuvre est de 6 *f* par pied de profondeur sur 4 à 12 pouces de diamètre, tandis qu'aux Etats-Unis le même travail est payé le double. Outre ces avantages, il a été constaté que la plupart des puits forés sont à source courante, ce qui donne lieu de croire qu'on se trouve en présence d'immenses lacs souterrains de pétrole.

On compte plusieurs raffineries, dont trois très importantes : Zorritos, Heath et Talara ; cette dernière est la plus considérable. Zorritos et Talara comptent respectivement 30 et 14 puits sur un total de 49 pour la région. Ces raffineries sont aménagées selon les derniers progrès du jour et élaborent le kérosène et tous ses dérivés. La raffinerie de Talara possède des réservoirs capables de contenir un million de litres, plusieurs alambics capables de distiller au delà de 130 000 *l* et des bateaux à vapeur pour le transport des produits. A Zorritos, les puits en exploitation se trouvent à 10 *m* et 15 *m* l'un de l'autre et à 30 *m* du rivage. Ces deux établissements sont desservis par des chemins de fer Decauville, des télégraphes et des téléphones, et sont éclairés à la lumière électrique ; tous deux possèdent des ports abrités munis d'excellents môles et de

phares système français à lumière prismatique colorée, rayonnant à 9 *km* de distance.

L'importance de ces usines est telle, qu'elles ont produit, à elles deux, la plus grande partie des 80 millions de litres de pétrole élaborés en 1892 par les 49 puits qui se trouvent dans la région.

La production totale du Pérou peut être évaluée actuellement à 500 000 fûts de 160 *l*, ce qui placerait ce pays au sixième rang dans le monde; il est en effet précédé par les États-Unis, le Canada, la Russie, la Gallicie et la Birmanie.

La plus grande partie du pétrole péruvien se consomme dans le pays; ce combustible est déjà employé communément par les chemins de fer et commence à l'être par les fonderies de métaux. Il se popularise d'autant plus qu'il offre, sur les meilleurs charbons connus, 40 0/0 d'économie dans le poids à prix égaux. Une certaine quantité est exportée dans les républiques limitrophes ainsi qu'en Chine. En somme, d'après M. Cisneros, on peut prédire un grand avenir à la région pétrolifère du Pérou qui rivalisera un jour avec celle du Caucase, si on tient compte des rendements donnés par les puits et de la position topographique.

Une grue mobile de 40 *t*. — La marine des États-Unis emploie, dans les arsenaux de Brooklyn et de Norfolk, des grues mobiles d'une force maxima de 40 *t*, construites par William Sellers et C[ie] de Philadelphie, et qui sont spécialement destinées à la mise en place des plaques de cuirasse.

Ces grues circulent sur une voie ferrée qui règne sur les trois côtés des formes sèches, le quatrième côté étant celui de l'entrée, et peuvent passer dans les courbes de 25 *m* qui raccordent les alignements droits de ces courbes. Aussi sont-elles portées sur un système de truck convenablement disposé et qui rappelle tout à fait celui qui est employé par la maison Decauville pour manœuvrer les gros canons sur la voie de 0,60 *m*. Il y a quatre trucks à deux essieux chacun portant, deux par deux, des plates-formes à pivot qui portent elles-mêmes la base de la grue.

La voie a 18 pieds (5,49 *m*) entre les rails. La base circulaire de la grue porte à l'avant l'articulation de la flèche, et, à l'arrière, des montants verticaux qui sont reliés par des tirants à l'extrémité supérieure de la flèche; ces montants portent le mécanisme de levage.

La base se prolonge en arrière pour porter la chaudière et une caisse à lest pouvant recevoir 60 *t* de fonte en gueuses. La flèche et les tirants sont reliés par un système d'entretoises formant une série de triangles.

L'articulation de la flèche avec la base de la grue est disposée de telle sorte que sous l'action de vis qui la déplacent la portée de la grue peut être rendue variable de 15,25 à 19,50 *m*. Dans le premier cas, elle peut enlever 40 *t*, dans le second seulement 30. Le contrepoids est calculé pour équilibrer la grue à vide ou en charge, le centre de gravité restant, dans les deux cas, à l'intérieur de la base d'appui. La plate-forme porte extérieurement un cercle denté qui opère la rotation de l'appareil.

La force motrice est produite par une machine à deux cylindres de 0,254 *m* de diamètre et 0,305 *m* de course qui opère au moyen d'embrayages

à friction tous les mouvements nécessaires, levée et descente de la charge, rotation et déplacement sur la voie. Le crochet est suspendu par trois brins de chaîne; celle-ci est en fer de 35 *mm* de diamètre, elle s'enroule sans superposition sur un tambour en fer. Il y a deux vitesses, l'une de 1,50 à 2 *m* par minute pour les grosses charges, l'autre trois fois plus grande pour les poids ne dépassant pas 15 *t*.

Les embrayages à friction sont disposés par paire sur des arbres horizontaux avec un seul levier par paire disposé de telle sorte que le mouvement du levier dans un sens produise le mouvement de la grue dans ce sens et inversement.

Les dimensions de cet appareil sont naturellement très considérables. Le crochet est à sa position supérieure à 20 *m* environ au-dessus du sol, l'extrémité de la flèche est à 23,50 *m*; la longueur de la flèche est de 26 *m* et la hauteur des montants verticaux au-dessus du sol de 14 *m*, l'écartement extrême des essieux des trucks atteint 10,40 *m*. Il est à regretter que les journaux américains qui donnent la description de ce puissant engin de levage n'en indiquent pas le poids.

Dragues de grande puissance. — On sait qu'on construit aujourd'hui des dragues dont la puissance laisse loin derrière elle ce qu'on faisait de plus fort il y a à peine quelques années. Beaucoup de ces dragues sont porteuses, c'est-à-dire déchargent dans des capacités contenues dans leur propre coque et, une fois chargées, vont se vider elles-mêmes à une certaine distance du lieu d'extraction.

L'*Indian Engineering* donne quelques exemples remarquables de ces puissants engins. La drague *Kuphus*, à Bombay, a extrait 93 000 *t* de déblai en 136 heures et les a transportés à 4 milles de distance; on a fait en moyenne 5 voyages par jour. En décembre 1892, la drague a extrait 112 000 *t* en 105 1/4 heures. Enfin, en une journée, elle a dragué et transporté à 4 milles 6 000 *t*.

La drague *Wenlock*, en novembre et décembre 1892, a dragué et transporté à la mer 4 700 *t* et elle a extrait et chargé en chalands, 25 000 *t*. La drague *Mermaid*, à Aden, a dragué 98 000 *t* de conglomérats de sable et coquilles en 142 heures de travail et les a transportés à 5 milles.

On a fait à Otago une comparaison intéressante entre la dépense d'extraction et de transport avec les deux systèmes, drague porteuse d'une part et drague ordinaire et porteuse à vapeur de l'autre.

Avec une puissante drague à échelles desservie par des porteurs à vapeur, on a dépensé environ 2 *f* par mètre cube extrait et transporté à deux milles de distance, tandis qu'avec une drague porteuse de 1 200 *t* de Simons et Cie l'extraction et le transport à 12 milles de distance n'ont coûté que 1,05 *f* par mètre cube, c'est-à-dire un peu plus de la moitié pour une distance six fois plus considérable.

Des dragues porteuses de grande puissance sont employées au port de Yokohama, à la barre de Woosung à l'entrée du Yang-tsé-kiang, à Vizagapatam, à Colombo, Bombay, Aden, etc.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Septembre 1894

Rapport de M. Hirsch sur **l'appareil dynamométrique** de M. J. Digeon.

Cet appareil a été construit par notre collègue M. Digeon pour mesurer les résistances des trains de chemins de fer. Trois exemplaires ont été faits jusqu'ici, un pour le chemin de fer de l'Ouest, un pour les chemins de fer du Sud-Ouest de la Russie et un pour ceux de l'État hongrois.

L'appareil, installé dans un fourgon spécial, donne : les efforts de traction, le chemin parcouru, le temps, les tours de roues, la vitesse et le travail développé.

L'appareil est enregistreur et les indications s'inscrivent sur une bande de papier qui se déroule avec une vitesse proportionnelle à celle du train, les rouleaux d'entraînement étant en relation avec un des essieux du fourgon; la proportionnalité exacte entre la vitesse du train et celle du papier est, d'ailleurs, contrôlée par deux moyens, d'abord par un signal électrique qui s'inscrit sur le papier à chaque dix tours de l'essieu et par une marque faite par un observateur au passage de chaque borne kilométrique.

Le temps est donné par une horloge qui fait une marque toutes les dix secondes, et la vitesse est fournie par un appareil très ingénieux, basé sur un principe différentiel.

L'effort de traction est donné par un dynamomètre à ressort à lames pouvant mesurer jusqu'à 7 500 *kg* et le travail par un appareil totalisateur des produits de l'effort de traction par la vitesse à chaque instant. Cet appareil donne des résultats d'une grande régularité et d'une grande précision.

Rapport de M. Aimé Girard sur un nouvel **appareil de concentration de l'acide sulfurique**, de M. Kessler, de Clermont-Ferrand.

La concentration de l'acide sulfurique est une opération toujours difficile et coûteuse. Si on opère dans le verre, on risque de voir les cornues se briser par les soubresauts du liquide. Les alambics en platine sont chers et le métal est attaqué par le liquide très concentré, à ce point qu'on doit compter sur une perte de 1,44 *f* de métal par 100 *kg* d'acide concentré pour l'acide à 99,5°

M. Kessler emploie un procédé dans lequel l'acide n'est plus chauffé par les parois des vases qui le contiennent; il est disposé en couches minces, et on fait passer sur la surface des gaz à 500° débités par un

foyer voisin. Ces gaz produisent une évaporation rapide et se chargent de vapeur d'eau mêlée de vapeurs acides qui sortent à 200° environ. Pour dépouiller ces vapeurs de l'acide, on les met en contact avec l'acide faible et froid provenant des chambres de plomb. Cette opération se fait dans un récupérateur à plateau. Les dernières traces d'acides sont absorbées dans un filtre à coke. L'appareil est construit en matériaux inattaquables par l'acide, tels que la lave de Volvic, le grès naturel et certains grès céramiques. La partie où l'acide est le moins chaud peut être faite en plomb.

Un appareil de ce genre peut fournir par vingt-quatre heures 5 000 *kg* d'acide à 96 à 98 0/0, avec une dépense de combustible de 16 à 17 *kg* 0/00 d'acide et une dépense de métal nulle, tandis qu'avec l'alambic de platine, on dépense, pour la même quantité d'acide, 25 à 28 *kg* de combustible, plus une perte importante de métal. Enfin, l'appareil coûte 3 000 *f* au lieu de 30 000 *f*, prix d'un alambic en platine. Aussi n'est-il pas étonnant que ce système se soit assez rapidement répandu; il s'est construit sept appareils Kessler depuis deux ans.

Compte rendu du concours ouvert par l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail pour la **création d'un bon type de masque respirateur contre les poussières,** par M. H. Mamy, directeur de cette Association.

Les poussières dans lesquelles les ouvriers sont fréquemment placés par le fait même du travail ont une influence nocive mise aujourd'hui hors de doute. Comme on ne peut pas toujours en empêcher la production, on doit s'efforcer d'y soustraire les ouvriers. La ventilation serait le meilleur moyen si elle était toujours possible.

Lorsqu'on ne peut en obtenir un effet suffisant, on doit employer des moyens spéciaux dont le meilleur consiste dans l'emploi de masques respirateurs. Jusqu'ici, l'usage de ces appareils ne s'est pas répandu dans les ateliers parce que les modèles qu'on possédait étaient assez imparfaits. C'est ce qui a donné l'idée à l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail d'ouvrir un concours pour la création d'un bon type de masque respirateur, comme elle l'avait fait avec succès pour la création d'un bon type de lunettes d'atelier.

Il a été présenté à ce concours un certain nombre de modèles dont quatre seulement ont été récompensés, l'un par le prix, et les trois autres par des mentions honorables.

Le premier est celui du Dr Detourbe; il est formé d'une carcasse en aluminium avec revêtement en caoutchouc. L'air est aspiré par une soupape derrière laquelle est un filtre à ouate hydrophile, l'air respiré est rejeté par une soupape d'expiration. L'inventeur a envoyé deux appareils dont l'un pèse 109 *g* et l'autre 128 *g*. Le prix pourrait être abaissé à 9 *f*.

Distribution de la force motrice à Liverpool, par M. J. Parry (Extrait des publications de l'*Institution of Mechanical Engineers*).

Cette distribution est opérée par l'eau sous pression; la charge varie dans les conduites de 3,5 à 5,6 *kg* par centimètre carré. On compte en-

viron 162 machines et 114 monte-charges. On compte, à côté de ce système, environ 650 moteurs à gaz, des moteurs à vapeur et quelques moteurs à air comprimé. Il y a également un autre réseau hydraulique distribuant de l'eau à 50 *kg* de pression. La note donne un tableau des dépenses relatives au fonctionnement des monte-charges actionnés par les divers moteurs. Le gaz parait être le plus économique.

L'industrie des viandes en Australie (Extrait des *Reports from the Consuls of the United States.*)

Cette note contient des renseignements très intéressants sur l'élevage des moutons, la préparation et l'expédition des viandes dans les diverses parties de l'Australie. Il y a des établissements qui *travaillent* 35 000 moutons par mois. En dehors des opérations que comporte la congélation, on y traite toutes les parties de l'animal; les issues sont utilisées pour la nourriture des porcs, les parties graisseuses sont transformées en suif, les peaux sont mégissées, les langues, rognons, etc., préparés pour l'exportation et on s'occupe en ce moment d'étudier la transformation en engrais des parties inutilisables jusqu'ici.

On comprend que des installations de ce genre doivent avoir un matériel important. Les établissements d'Aberdeen ont des machines réfrigérantes actionnées par des moteurs de 300 *ch* donnant 3 500 m^3 d'air froid à l'heure. La difficulté est le transport de la viande refroidie jusqu'au port d'embarquement situé à 130 *km*. De plus, la traversée d'Australie en Europe qui demande cinq à six semaines et le passage de l'équateur est un obstacle assez sérieux qui met le transport de ces viandes dans un certain état d'infériorité par rapport à celles d'Amérique. Ces raisons n'existent pas pour le transport des viandes cuites et mises en boites, forme sous laquelle s'est effectuée d'abord et s'effectue encore en quantité l'exportation d'Australie.

ANNALES DES MINES

11e livraison de 1894.

Note sur le **régime de la propriété et de l'exploitation des mines** en Angleterre, d'après une enquête récente, par M. Aguillon, inspecteur général des mines.

Une Commission royale a été instituée en 1889 pour procéder à une enquête dont l'objet était ainsi défini dans l'acte qui l'instituait: rechercher le montant des sommes payées comme redevances ou droits de passage pour l'exploitation de la houille, du minerai de fer, de l'argile réfractaire et des substances métallifères soumises à la loi sur les mines métalliques de 1872 et leur influence économique sur l'industrie extractive du pays, rechercher en outre les clauses et conditions en vertu desquelles les mines sont exploitées dans l'Inde, aux colonies et dans les pays étrangers sous le régime des concessions et de leurs conséquences économiques.

Le rapport de la Commission a été déposé en mars 1893; les conclusions se formulent par un certain nombre de propositions qui se trouvent reproduites *in extenso* dans la note dont nous nous occupons.

Note sur un mode de **graduation des éprouvettes à grisou**, par M. Rateau, Ingénieur des mines.

Il s'agit d'une graduation de l'éprouvette servant au dosage du grisou par les limites d'inflammabilité, par la méthode de M. H. Le Châtelier. Le principe de la nouvelle graduation est une forme tronconique donnée au tube supérieur de l'éprouvette, forme qui fait que dans le bas les divisions sont plus écartées et augmentent la précision des mesures près du zéro. On comprend, en effet, qu'il est plus important d'avoir l'approximation des demi-millièmes lorsque la teneur en grisou est inférieure à 10 millièmes que lorsqu'elle s'approche de 50 millièmes.

Précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des **tubes indicateurs de niveau d'eau des chaudières à vapeur**, par M. C. Walckenaer, Ingénieur des mines.

Les statistiques indiquent que le manque d'eau est une des causes les plus fréquentes des accidents des chaudières à vapeur. Il est donc utile d'appeler l'attention sur les appareils indicateurs du niveau d'eau et notamment sur le tube de verre dont les indications sont quelquefois faussées par une mauvaise installation ou un dérangement. La note cite quelques exemples remarquables de ces dérangements, et insiste sur le danger des étranglements dans les communications, étranglements qui peuvent amener une différence de plusieurs centimètres entre le niveau dans le tube et celui dans la chaudière, et donnent une fausse sécurité. MM. Lethuillier et Pinel ont publié sur ce sujet d'intéressants résultats d'observation. L'auteur termine en indiquant les précautions à prendre avec ces appareils pour les maintenir en bon état de fonctionnement et s'assurer de cet état.

De quelques mesures propres à augmenter la **sécurité de l'emploi des chaudières à petits éléments**, par M. C. Walckenaer, Ingénieur des mines.

L'expérience a prouvé que les accidents arrivés aux chaudières à petits éléments sont dans une proportion bien supérieure à ce qu'on pouvait supposer et que les conséquences au point de vue des victimes en sont souvent très graves. On doit donc se préoccuper de faire disparaître, dans la mesure du possible, les causes de ces accidents ou tout au moins d'atténuer leurs conséquences.

Dans un travail inséré dans nos *Bulletins* (Août 1893), notre collègue M. Compère à indiqué plusieurs précautions à prendre pour prévenir les coups de feu par défaut d'alimentation. On peut ajouter quelques autres précautions. Mais il est non moins intéressant de prendre des mesures pour rendre, autant que possible, inoffensives pour les personnes, les avaries auxquelles sont le plus souvent sujettes les chaudières à petits éléments. Ces avaries consistent surtout dans des déchi-

rures de tubes et des détachements de bouchons amenant des jets d'eau chaude et de vapeur qui sont les agents meurtriers. On doit s'attacher à garantir le personnel contre ces projections par de bonnes dispositions des ouvertures des cendriers, des portes de foyers, etc., et par des emplacements convenables des issues des chambres de chauffe.

Emploi de l'eau oxygénée dans le dosage pondéral et volumétrique du chrome et du manganèse, par M. Ad. Carnot, Inspecteur général des mines.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 48. — *1er décembre 1894.*

La navigation à vapeur aux États-Unis, par Otto H. Mueller.

Déformation des foyers cylindriques des chaudières à vapeur à la suite de coups de feu, par C. Bach.

Nouvelles machines pour l'industrie de l'imprimerie aux États-Unis, par E. Wentscher *(suite)*.

Installations électriques de Westerland et Sylt, par E. Krause.

Soupape de sûreté automatique de Lethuiller et Pinel, par W. Haase.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Efficacité des enveloppes de vapeur. — Expériences sur l'influence de la conduite des foyers relativement à la suppression de la fumée.

Groupe de Hesse. — Machine à vapeur surchauffée de Schmidt.

Bibliographie. — Fabrication de la fonte, par E. de Billy.

Variétés. — Accident à des poulies à courroies. — Exposition d'électricité à Carlsruhe.— Concours ouvert par l'Association des chemins de fer pour un travail sur l'histoire des chemins de fer prussiens.

N° 49. — *8 décembre 1894.*

La navigation à vapeur aux Etats-Unis, par Otto H. Mueller *(fin)*.

Appréciation de la valeur d'une chaudière à vapeur, par H. Lorenz.

Expérience sur une nouvelle forme de roues à aubes pour bateaux, par O. Flamm.

Nouvelle construction des courbes polytropiques, par M. Tolle.

Pompes à vapeur d'alimentation pour hautes pressions, par W. Theiss.

Machine à cisailler et poinçonner les fers à double T et profils analogues, par K. Specht.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Tramways électriques d'Aix-la-Chapelle.

Groupe de Hanovre. — L'argent, son exploitation au point de vue minier et métallurgique au Mexique et dans l'Amérique du sud.

Variétés. — Machine à vapeur de Newcomen. — Epreuve à rupture d'un pont de chemin de fer. — Technicum d'Ilmenau. — Accidents à des poulies à courroies.

N° 50. — *15 décembre 1894.*

Grue pour le montage des ponts tournants de Dirschau, Marienburg et Fordon, par Mehrtens.

Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'agriculture, à Berlin, du 6 au 12 juillet 1894, par Grundke *(suite)*.

Utilité de l'emploi des mesures absolues, par M. Grübler.

Machines-outils et appareils de levage mus par l'électricité, par C. Wast-Kunz.

Bibliographie. — Fabrication des briques, tuiles et produits céramiques aux États-Unis, à l'Exposition de Chicago en 1893, par K. Dümmler.

Variétés. — Locomotives compound sans appareil de démarrage.

N° 51. — *22 décembre 1894.*

Chauffage et utilisation des salles de spectacle, par M. Fischer.

Les locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite)*.

Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'agriculture, à Berlin, du 6 au 12 juillet 1894, par Grundke *(suite)*.

Appareils de sécurité pour machines à vapeur, par Otto Feeg.

H. de Treitschke et Robert Mayer (théorie mécanique de la chaleur), par Weyrauch.

Groupe de Berlin. — Causes d'explosion des chaudières multitubulaires.

Groupe du Rhin inférieur. — Traction électrique sur les chemins de fer. — Fonçage pneumatique de deux puits, à Flahe. — Accumulateurs électriques à zinc et cuivre. — Installations électriques de Gotha.

N° 52. — *29 décembre 1894.*

Les machines de la marine des États-Unis, par Uthemann.

Les locomotives compound en Amérique, par E. Brückmann *(fin)*.

Chauffage et ventilation de l'établissement des diaconesses, à Stuttgart, par C. Randel.

Expériences sur les propriétés résistantes du cuivre.

Notice nécrologique sur Oscar Henschel.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Pyromètre à air, de Wiborgh.

Correspondance. — Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'Agriculture, à Berlin.

BIBLIOGRAPHIE

Les locomotives à l'Exposition de Chicago, par M. Grille. — Paris, E. Bernard et Cie, éditeurs, 53 *ter*, quai des Grands-Augustins.

MM. Bernard et Cie ont bien voulu offrir à la bibliothèque de notre Société l'ouvrage dont nous venons de donner le titre, et qui est le premier volume de l'étude sur les chemins de fer faisant partie de la *Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago*, travail considérable entrepris par nos collègues MM. Grille et Falconnet.

L'étude sur les locomotives que nous avons à examiner ici a reçu de son auteur, M. Grille, un grand développement, justifié, pensons-nous, tant par l'importance même de l'exposition des locomotives à Chicago, que par l'intérêt qu'il y avait à appeler d'une manière toute particulière l'attention sur des machines qui présentent, comme on sait, des différences considérables avec celles que nous avons l'habitude de voir circuler sous nos yeux.

L'importance de l'Exposition de Chicago au point de vue des locomotives était, venons-nous de dire, très grande; en effet, on ne comptait pas moins de 80 de ces machines, dont 50 pour lignes principales, 10 pour lignes secondaires, tramways, etc., et 20 locomotives dites *historiques*, c'est-à-dire d'anciennes locomotives exposées à titre rétrospectif. Sur les 60 locomotives actuelles, 10 étaient de provenance européenne, savoir: 4 françaises, 4 anglaises et 2 allemandes. Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que le chiffre de 60 que nous venons d'indiquer est précisément le même que celui des locomotives exposées à Paris en 1889; à Paris, en 1878, il y en avait 49. Pendant que nous sommes sur le chapitre de la statistique, disons tout de suite que, sur les 42 machines pour lignes principales de construction américaine, il y en avait 21 pour trains de voyageurs, à 2 et 3 essieux accouplés, 16 pour marchandises à 3, 4 et 5 essieux accouplés et 5 pour services divers.

L'auteur débute par l'examen des locomotives les plus intéressantes envoyées d'Europe à Chicago, telles que la machine à grande vitesse à 4 cylindres du Nord français, la machine à grande vitesse à distribution Bonnefond de l'État français, la locomotive Webb, la singulière machine à 4 cylindres de Winby, etc., puis il passe à l'examen détaillé des locomotives américaines exposées; nous ne le suivrons pas dans cette revue, quelque intéressante qu'elle soit, nous dirons seulement que les descriptions sont très complètes, faites avec soin, et qu'un atlas de 95 planches, donnant les ensembles et les détails de toutes les machines, en facilite beaucoup la compréhension.

Il nous paraît préférable d'entrer avec l'auteur dans quelques considérations sur les différences essentielles qui distinguent les constructions européenne et américaine, différences qui, comme nous l'avons dit plus haut, justifient encore à un autre point de vue l'importance et le développement donnés à son travail par M. Grille.

Les dispositions caractéristiques appliquées, presque dès le début, à leurs locomotives par les constructeurs américains, et qu'ils ont conservées religieusement jusqu'à l'époque actuelle, sauf quelques exceptions, s'expliquent par les conditions de service auxquelles ces machines avaient à satisfaire, conditions très différentes de celles qu'on rencontre sur les lignes d'Europe.

En effet, dès l'origine, la caractéristique des locomotives américaines était la nécessité de traîner des charges comparativement élevées sur des voies légères et installées avec assez peu de soin, présentant des déclivités considérables et des courbes de faible rayon. Ces conditions influaient sur la disposition des machines qui devaient avoir leur poids adhérent réparti sur un plus grand nombre d'appuis, tout en conservant une flexibilité suffisante. De là l'emploi des essieux accouplés en nombre plus ou moins considérable, mais toujours plus grand qu'en Europe, l'avant-train articulé, les balanciers de suspension pour égaliser la charge entre les essieux, la distribution combinée pour donner des admissions de 90 0/0 au maximum et 30 0/0 au minimum, etc. En même temps on constatait des dispositions de détail justifiées, elles aussi, par des nécessités particulières, l'emploi des roues en fonte, des châssis à barres soudées, correspondant aux ressources limitées offertes par l'industrie métallurgique de l'époque, celui des foyers en fer appropriés à l'usage du bois comme combustible, le chasse-bœufs indispensable sur des lignes traversant sans clôtures d'immenses prairies fréquentées par des troupeaux sauvages, l'abri vaste et bien clos nécessaire pour protéger le personnel contre les intempéries d'un climat très rude, etc., enfin des agencements mécaniques, tels que cylindres invariablement placés à l'extérieur, fondus avec la selle supportant l'avant de la chaudière et recevant le pivot du truck, boites à tiroir en dessus et double plateau rendant le cylindre symétrique et permettant l'emploi d'un seul modèle pour les deux côtés, etc., toutes dispositions réalisant des simplifications sérieuses dans la construction, le montage et l'entretien.

Que les constructeurs américains aient conservé, même après que les conditions qui les justifiaient avaient plus ou moins disparu, ces dispositions caractéristiques avec une fidélité à laquelle n'était sans doute pas tout à fait étrangère l'idée très arrêtée de sa propre supériorité que possède à un haut degré la race anglo-saxonne, c'est une chose qu'il serait puéril de nier, d'autant plus qu'on peut le constater aux Etats-Unis pour bien d'autres choses que les locomotives. Mais n'en est-il pas de même un peu partout, et les constructeurs, ou plutôt les ingénieurs des chemins de fer européens ne se sont-ils pas, eux aussi, montrés dans diverses occasions non moins rebelles à des changements dont ils n'appréciaient pas, à l'époque, l'utilité ?

La pratique américaine fut longtemps envisagée chez nous avec la plus grande suspicion, malgré les louables efforts faits par plusieurs auteurs pour la faire connaître. Couche le constatait dans un article inséré dans les *Annales des Mines* de 1852 : « Les exemples empruntés à l'Amérique ont peu d'autorité chez nous ; on s'est habitué à considérer les principes admis dans ce pays pour l'établissement des chemins de fer comme des exceptions inadmissibles en France. »

Nous en citerons un exemple. Dès 1844, un mécanicien de grand mérite auquel il n'a pas été suffisamment rendu justice, J.-J. Meyer, construisit *en France*, non pour les chemins de fer français, mais pour les lignes de l'Autriche, de la Bavière et du Nord de l'Italie, des locomotives à avant-train américain, et ce n'est que trente-cinq ans plus tard qu'on vit ces avant-trains ou *bogies* apparaître sur une ligne française, le Nord, en 1878, alors que ces dispositifs étaient employés depuis longtemps dans presque tous les pays de l'Europe. On peut se faire une idée du mérite qu'il y eut alors à réaliser cette importation par la phrase suivante écrite par Couche quelques années avant : « On aurait de la peine à se faire, en France, à l'idée d'une machine à grande vitesse avec avant-train articulé. » *(Matériel roulant et Exploitation technique des chemins de fer*, t. II, ch. VIII, p. 495, 1873.) Les conditions dans lesquelles se trouve écrite cette phrase permettent de supposer que l'éminent écrivain exprimait là peut-être moins son opinion personnelle que les idées en cours à l'époque. Il n'en est pas moins vrai que, vingt ans plus tard, on retrouve les bogies en question sur des machines à grande vitesse dans cinq des sept grands réseaux français.

D'autre part, il ne faut pas croire que l'attachement traditionnel des constructeurs américains pour leurs dispositions d'ensemble et de détails soit resté entièrement inébranlable; déjà certaines parties accessoires avaient été modifiées dans les formes en usage en Europe, mais l'atteinte la plus sérieuse a été amenée par l'introduction du système compound. L'emploi de cylindres plus volumineux ou plus nombreux (selon la forme dans laquelle ce système a été appliqué) a nécessité dans certains cas l'emploi d'avant-trains à deux essieux au lieu du *bissel* à un essieu et les types classiques des locomotives américaines, *American*, *Mogul*, *Consolidation*, se sont trouvés modifiés et en partie remplacés par d'autres. Des changements analogues ont été amenés dans les détails; ainsi, dans le type à quatre cylindres de Vauclain, la commande des tiroirs se fait directement sans l'emploi du traditionnel *rocker-shaft*, de même pour un certain nombre d'autres points. Pendant que nous sommes sur la question du système compound, disons qu'à l'Exposition de Chicago, il y avait 17 compound sur 42 locomotives américaines pour grandes lignes et 21 sur 60 en tout, alors que cette proportion était à Paris en 1889 de 15 sur 60, et à Paris en 1878 de 1 sur 49. A part la machine Webb, et une machine tandem de Brooks, toutes les compound exposées appartenaient au type à deux cylindres ou au type à quatre cylindres de Vauclain construit par la maison Baldwin.

Il serait injuste de ne pas signaler, à côté des particularités adoptées par les constructeurs des États-Unis dans la disposition de leurs locomotives, l'excellent parti que savent tirer de ces machines ceux qui ont à s'en servir. Le développement du trafic comme partout et le besoin du confort plus qu'ailleurs ont conduit aux États-Unis à un accroissement considérable du poids des trains et, la nécessité de plus grandes vitesses se faisant sentir, on a été conduit à demander aux locomotives une puissance de plus en plus grande. A cet effet on fait donner à chaque élément son maximum, on utilise, presque à ses extrêmes limites, l'adhérence, la combustion, le tirage, la vaporisation, l'effort sur les pistons, etc., et on

ne saurait contester que les Américains n'aient obtenu des résultats très remarquables dans cet ordre d'idées. Du reste, cette pratique n'est pas inconnue en Europe et le service de l'État Belge sur le Luxembourg et le service rapide projeté sur la ligne du Gothard sont des exemples d'une utilisation très intensive des éléments constitutifs de la locomotive.

Des considérations exposées ci-dessus, il résulte, comme le fait avec raison observer M. Grille, que les locomotives doivent être faites pour les voies de chemin de fer et par conséquent appropriées aux besoins de chaque pays ; mais, en dehors de la question d'opportunité, le chauvinisme n'a pas à intervenir, aucun pays n'a le monopole des progrès mécaniques et il y a du bon à prendre partout. D'autre part, s'il n'y avait que l'Europe et l'Amérique en présence, l'une et l'autre pourraient rester chez elles et faire leurs locomotives à leur guise ; mais il y a les pays neufs auxquels s'accommode probablement mieux la construction américaine sans parler de la question du bon marché et, si les fabricants européens veulent lutter sur ce terrain avec leurs concurrents d'au-delà de l'Atlantique, ils feront bien de se pénétrer de la construction américaine et de se familiariser avec ses détails. A ce point de vue particulier, comme à celui plus général de l'étude de la locomotive en elle-même, l'ouvrage de M. Grille est appelé à rendre de réels services et nous nous faisons un devoir de le recommander tout spécialement à l'attention de nos collègues.

Pour la Chronique, les Comptes rendus
et la Bibliographie :

A. Mallet.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LA CHRONIQUE

DE 1894

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE 2e SEMESTRE, ANNÉE 1894

(Bulletins)

TABLE ALPHABÉTIQUE

PAR

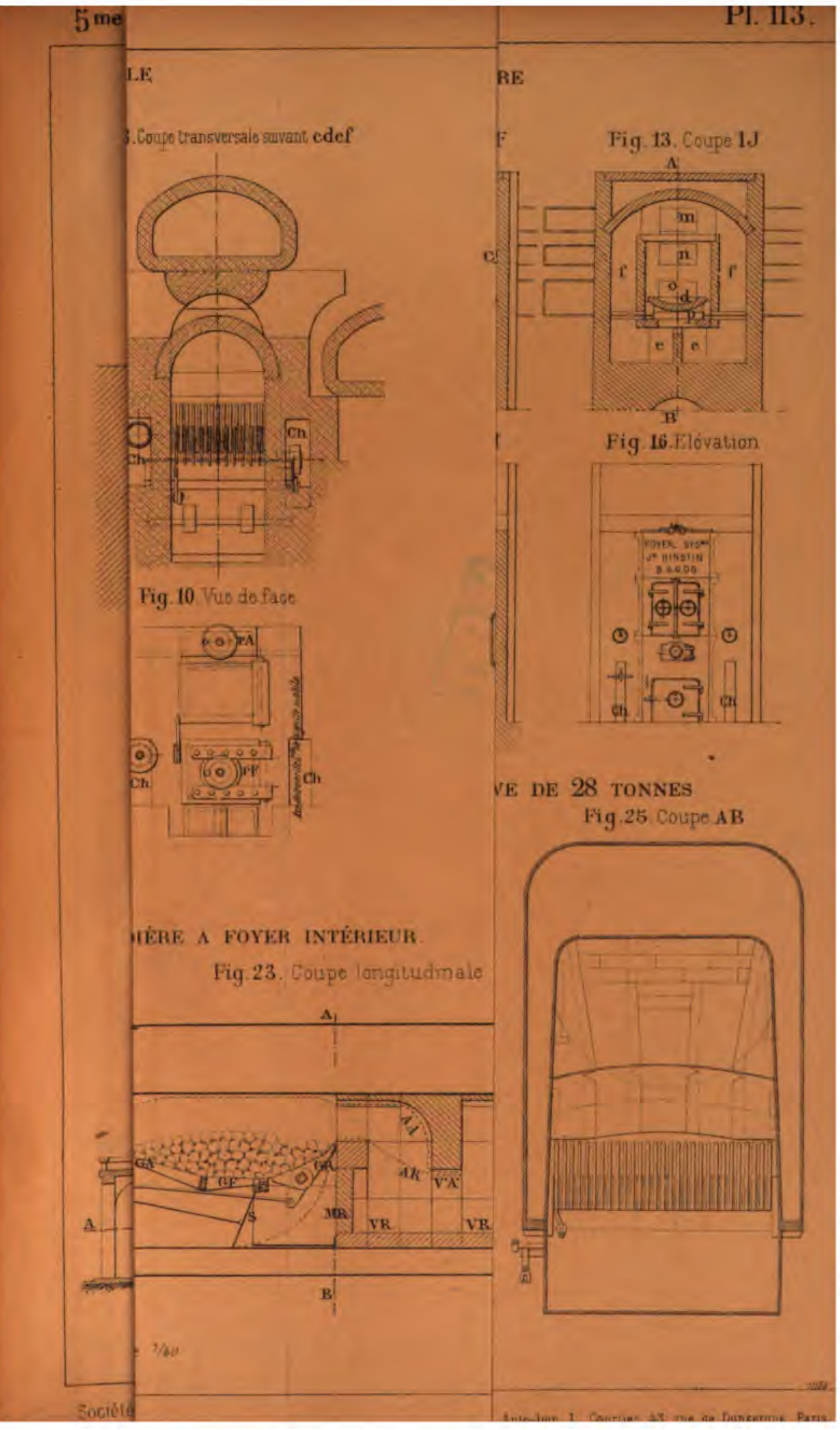
NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LES BULLETINS DE 1894.

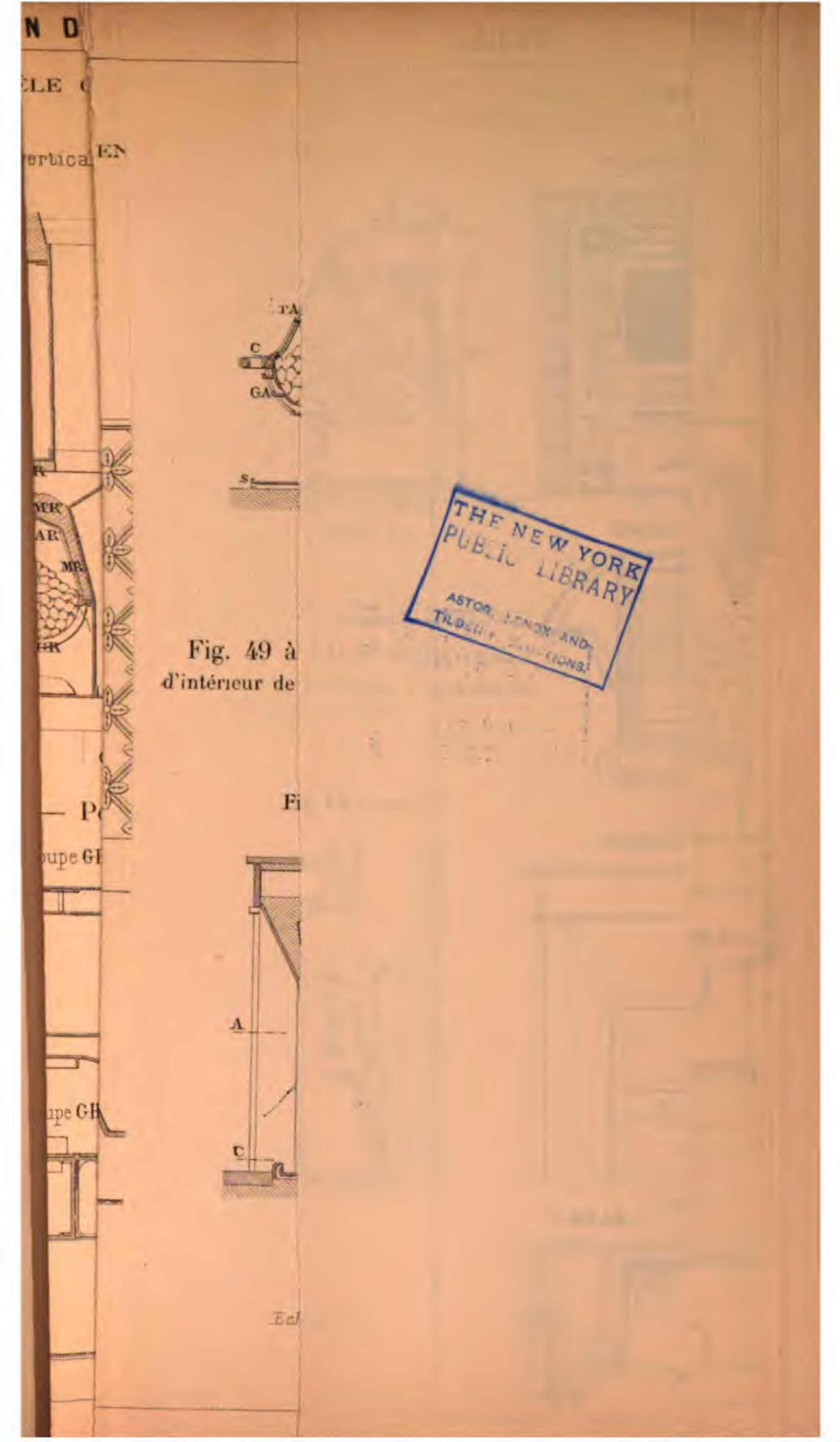
Le Secrétaire Général, Gérant responsable,

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 28900-12-94. — (Encre Lorilleux)


LE
RE
.Coupe transversale suivant cdef
Fig. 13. Coupe IJ
Fig. 16. Elévation
FOYER. SYST.
Fig. 10. Vue de face
VE DE 28 TONNES
Fig. 25. Coupe AB
IÈRE A FOYER INTÉRIEUR.
Fig. 23. Coupe longitudinale


N D
LE
ertical
EN
TA
C
GA
S
R
MR
AR
MR
R
Fig. 49 à
d'intérieur de
Pe
upe GI
Fi
A
C
upe GI
Ech


N D
ÈLE C
ertical
EN
TA
C
GA
S
MR
AR
Fig. 49 à
d'intérieur de
P
upe GH
Fi
A
C
upe GH
Ech

. 2 à 1 ECTRIQUE DE MARS

enregistreur pour

Voie Humbert.

rseille.)

Fig.17. Profil de la trave

helle: Fig. 15 à 17. ¼ grand

Fig.21. Pla

9.

l de la voie en élévation

Echelle

160 150 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

34 36 38 40 42 44 46 48 50

N HOUSTON.

Fig. 34.

e l'éclissage

F

Trolley roulant sur le fil de con

A Fig. 30 Élévation

Câble de suspension

Fil de contact

B

ur accroché au

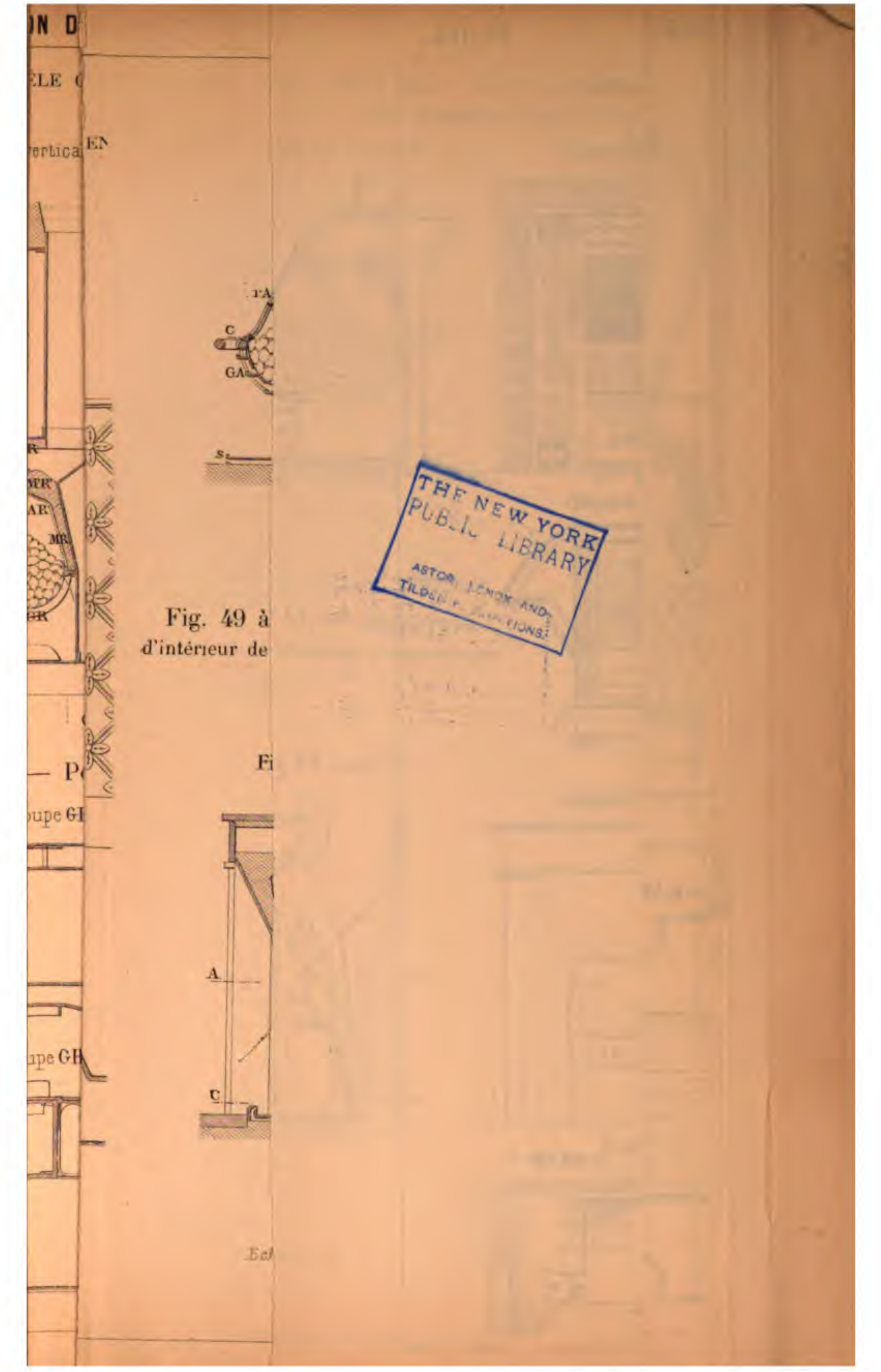
Fig. 36.

Bronze

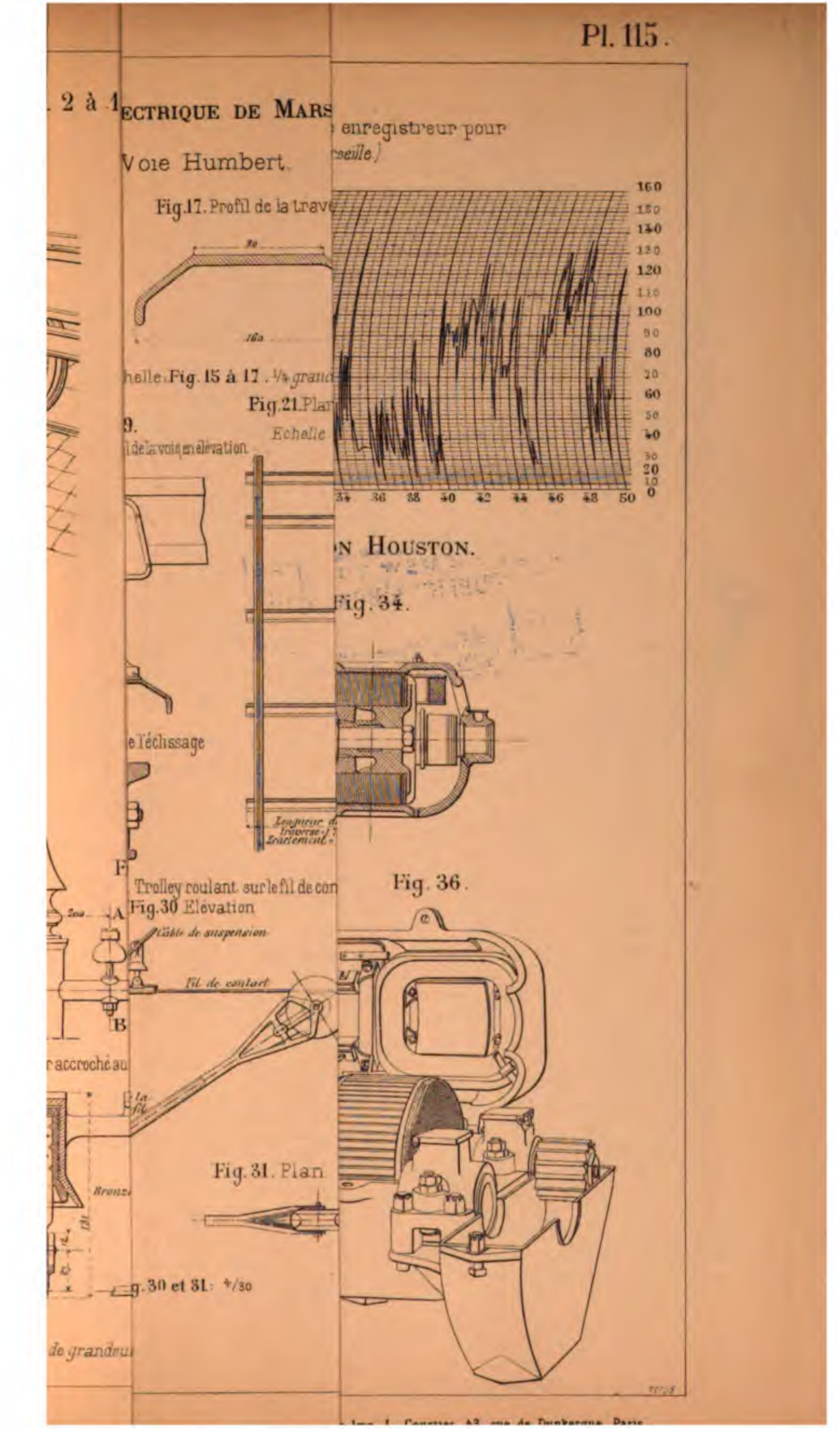
Fig. 31. Plan

g. 30 et 31: ⅙/30

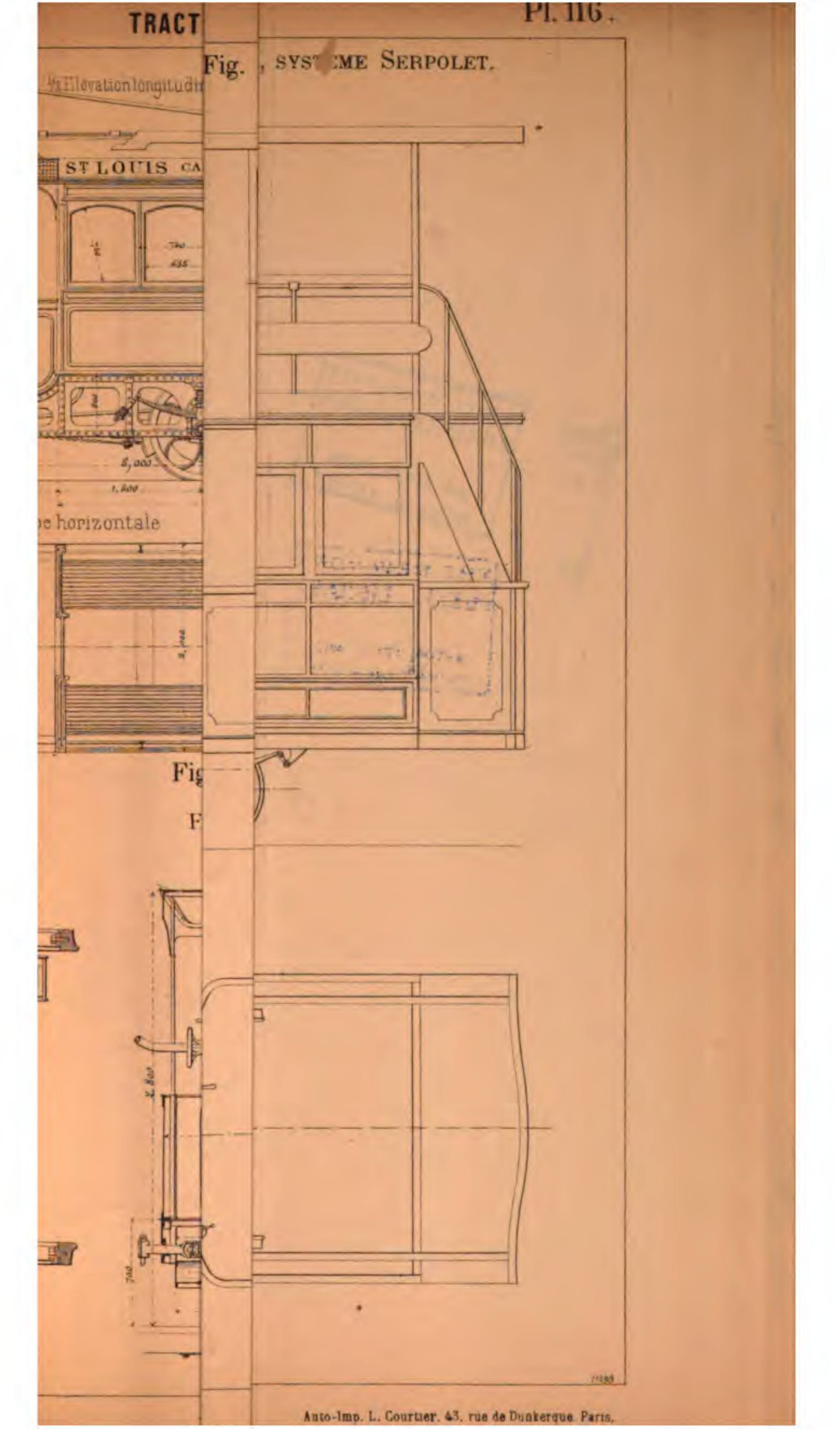
⅙ de grandeur



ON D
ÈLE
vertica
EN
FA
C
GA
S
R
MR
AR
MR
GR
Fig. 49 à
d'intérieur de
— P
upe GR
Fi
A
C
upe GR
Ech



Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris


Fig. , SYSTÈME SERPOLET.
½ Élévation longitudin
ST LOUIS CA
740
635
8,000
1,900
pe horizontale
2,200
Fig
F
2,800
700

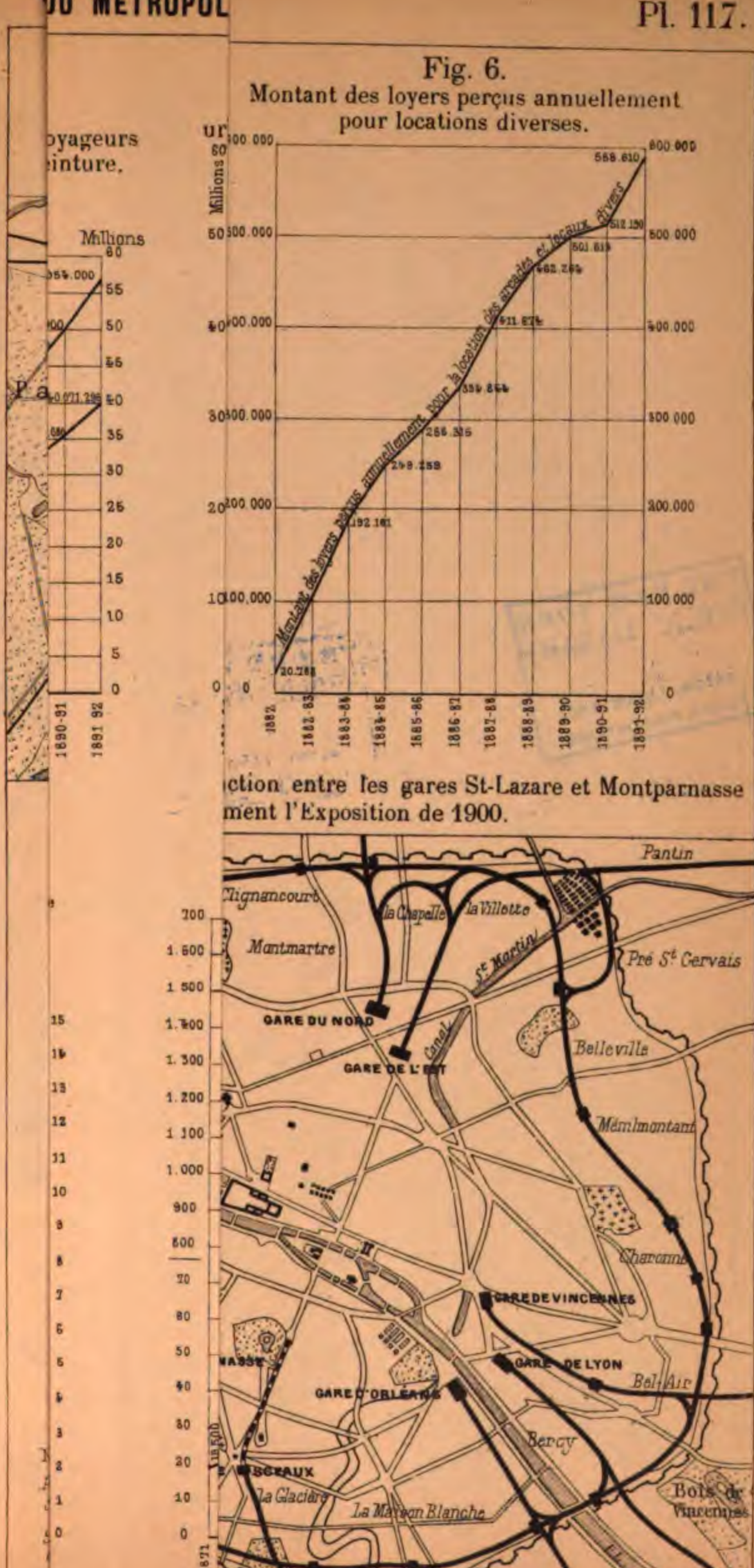
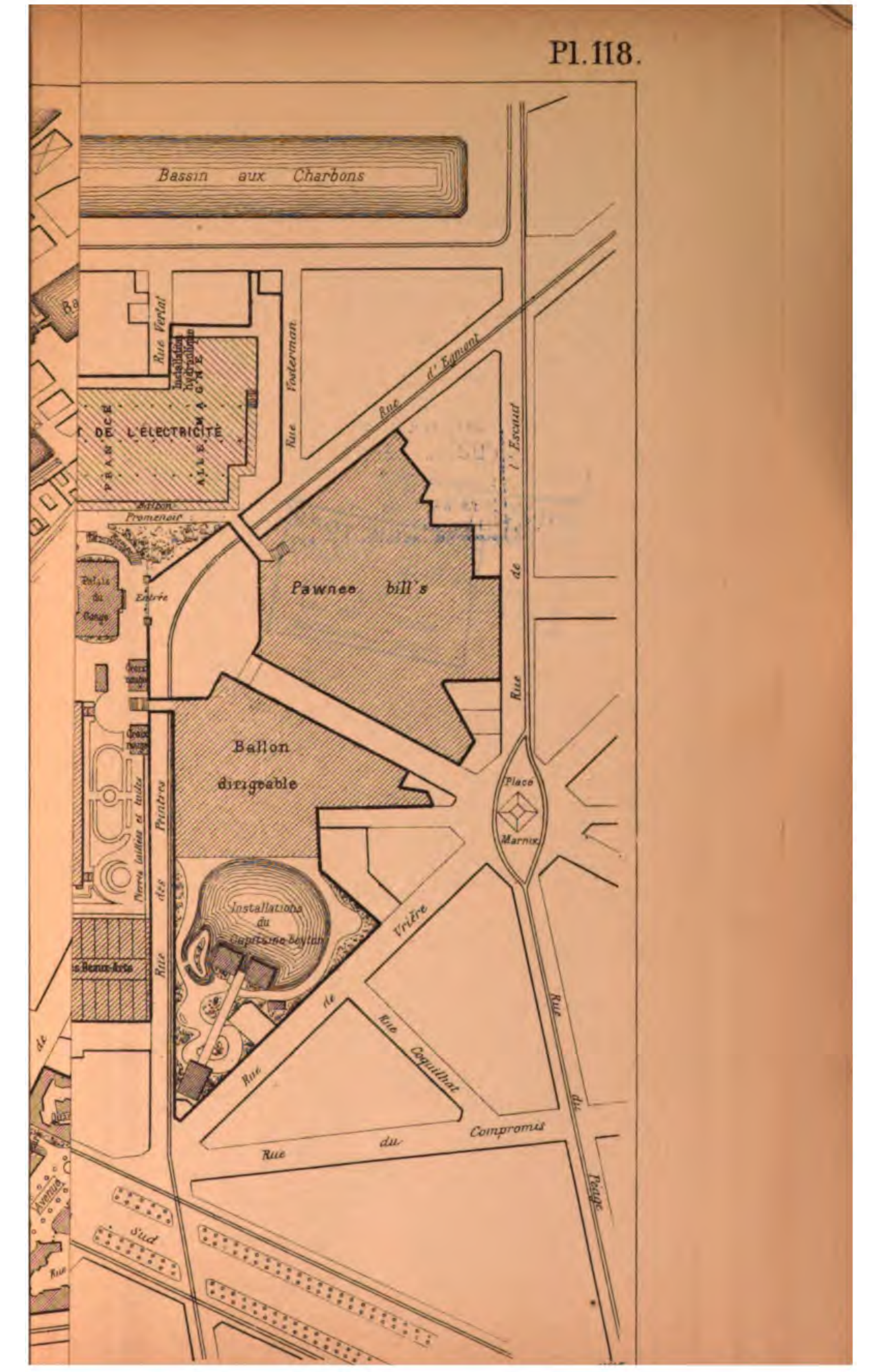
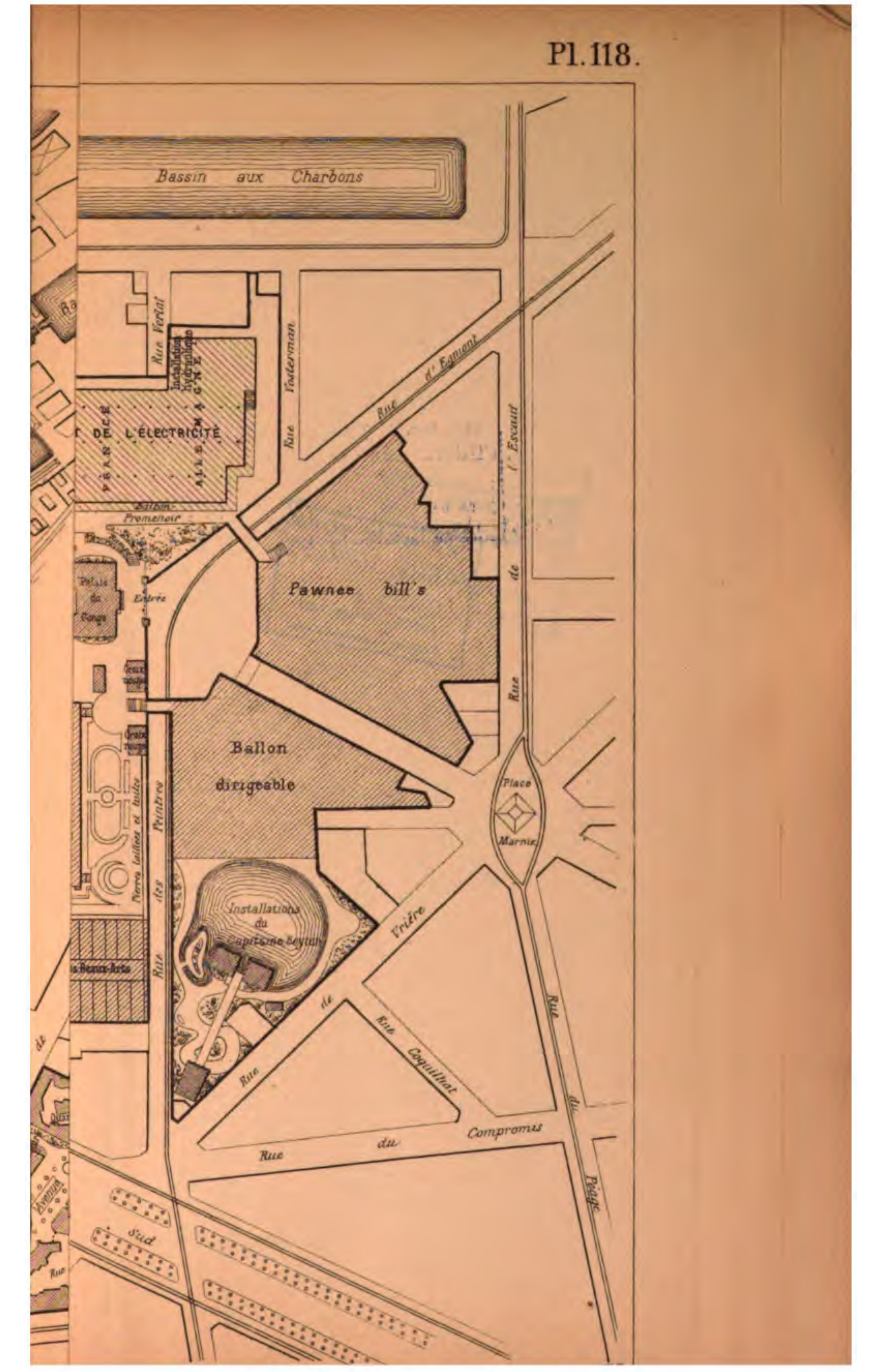
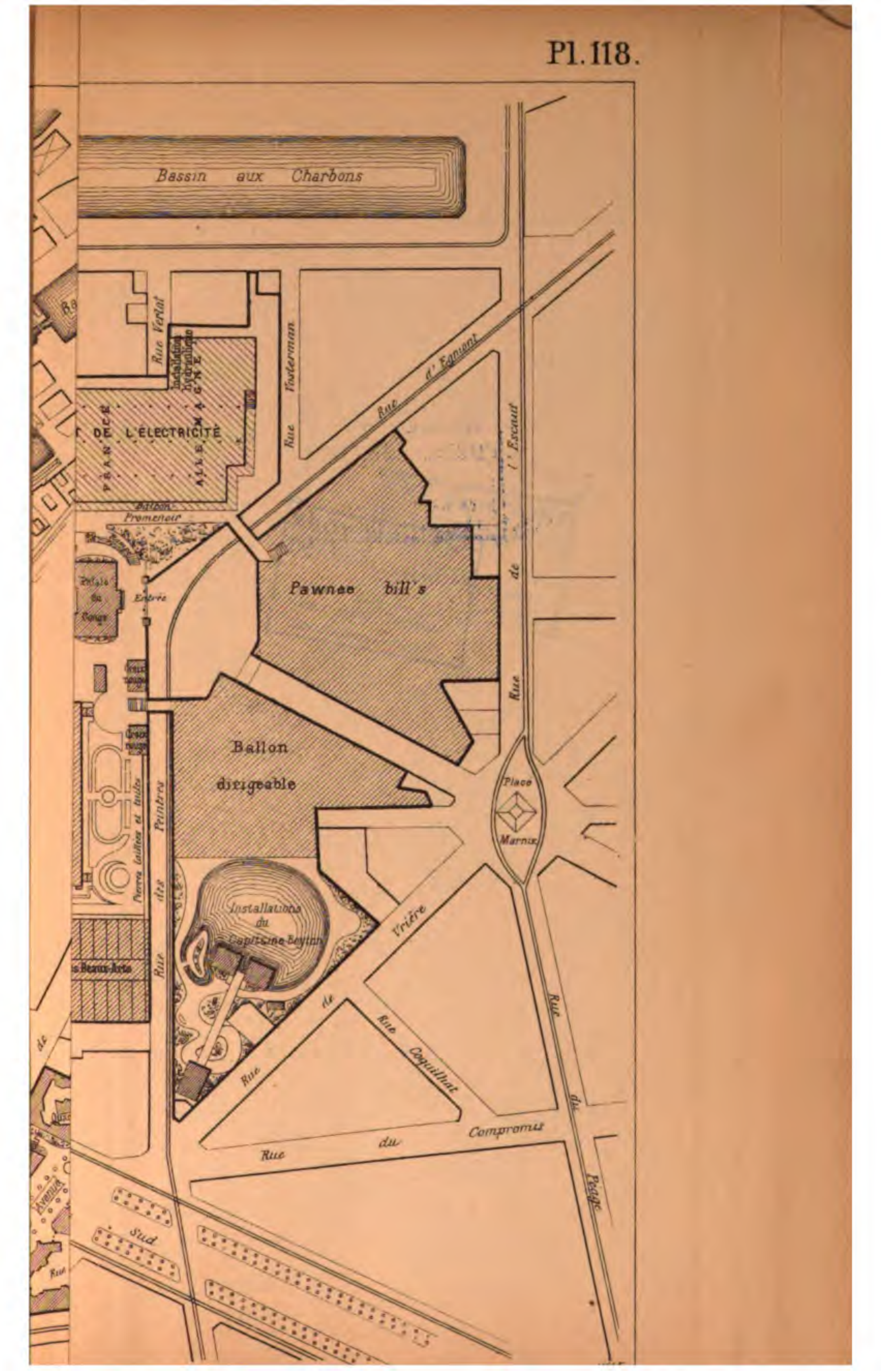


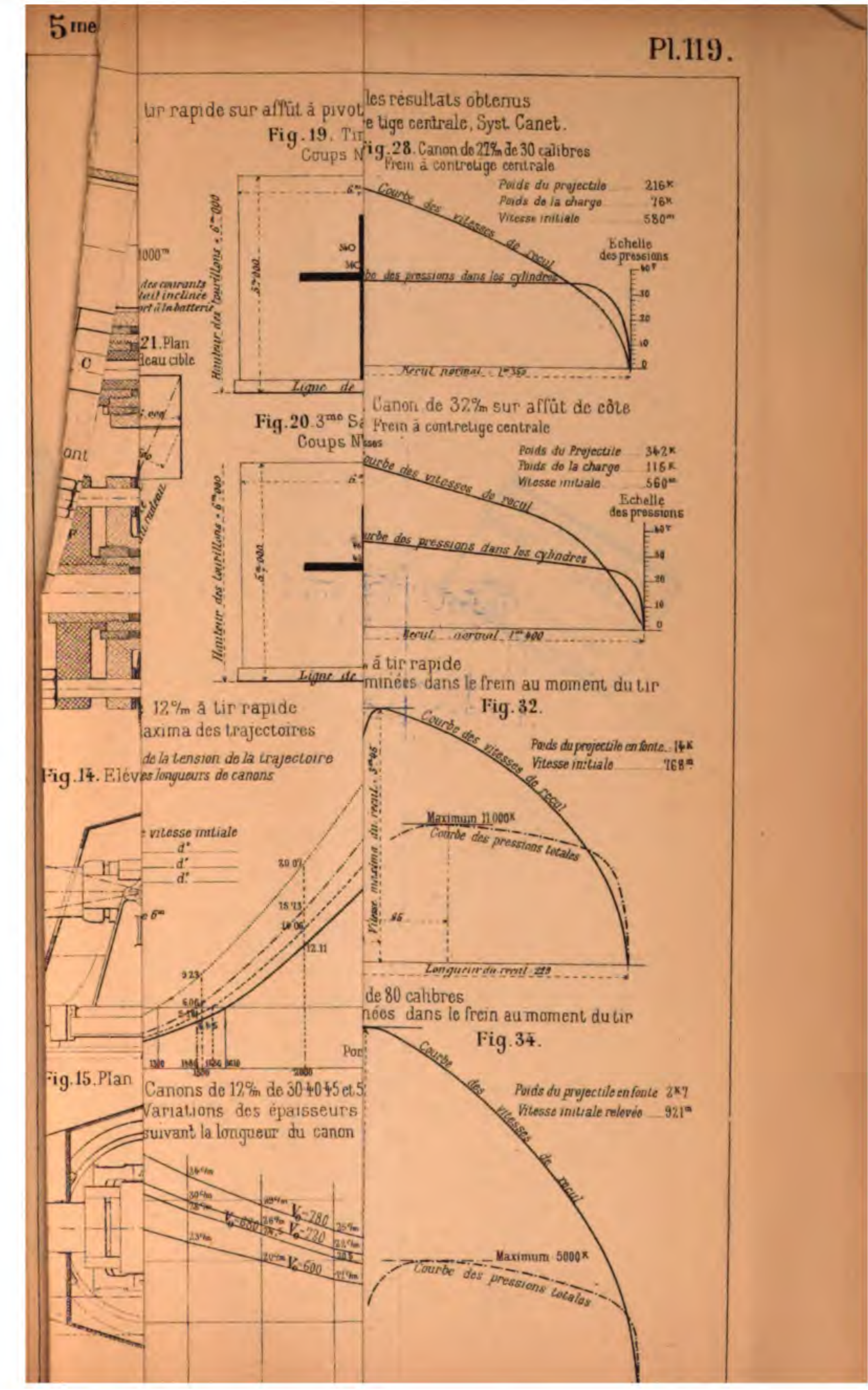
Fig. 6.
Montant des loyers perçus annuellement
pour locations diverses.
oyageurs
inture.
Millions
Montant des loyers perçus annuellement pour la location des arcades et locaux divers
600.000
500.000
400.000
300.000
200.000
100.000
0
1882
1882-83
1883-84
1884-85
1885-86
1886-87
1887-88
1888-89
1889-90
1890-91
1891-92
1890-91
1891-92
ction entre les gares St-Lazare et Montparnasse
ment l'Exposition de 1900.
Pantin
Clignancourt
la Chapelle
la Villette
Montmartre
St Martin
Pré St Gervais
GARE DU NORD
GARE DE L'EST
Canal
Belleville
Ménilmontant
Charonne
GARE DE VINCENNES
GARE DE LYON
Bel Air
GARE D'ORLÉANS
Bercy
SCEAUX
La Glacière
La Maison Blanche
Bois de Vincennes
Ivry


Bassin aux Charbons
Rue Verlat
Rue Vosterman
Rue d'Egmont
Rue de l'Escaut
DE L'ÉLECTRICITÉ
FRANCE
ALLEMAGNE
Installation hydraulique
Promenoir
Entrée
Palais du Congo
Pawnee bill's
Ballon dirigeable
Place Marnix
Installations du Capitaine Boyton
Rue des Peintres
Pierres taillées et tuiles
Beaux-Arts
Rue de Vrière
Rue Coquilhat
Rue du Compromis
Rue du Péage
Sud
Avenue
de



Pl. 118.
Bassin aux Charbons
Rue Verlat
Installation hydraulique
ALLEMAGNE
FRANCE
DE L'ÉLECTRICITÉ
Rue Vosterman
Rue d' Egmont
Bassin-Promenoir
Palais du Congo
Entrée
Pawnee bill's
Ballon dirigeable
Rue de l' Escaut
Place Marnix
Pierres taillées et tuiles
Rue des Peintres
Installations du
Rue de Vrière
Rue Coquilhat
Rue du Compromis
Rue du Péage
Beaux-Arts
Sud
Avenue


Bassin aux Charbons
Rue Verlat
Rue Vostermann
Rue d'Eguant
Rue de l'Escaut
DE L'ÉLECTRICITÉ
FRANCE
ALLEMAGNE
Ballon Promeneur
Entrée
Pawnee bill's
Ballon dirigeable
Place Marnix
Rue des Peintres
Installations du Capitaine Beyten
Rue de Vrière
Rue Coquilhat
Rue du Compromis
Rue du Péage
Beaux-Arts
Sud
Avenue


tir rapide sur affût à pivot
Fig. 19. Tir
Coups N
les résultats obtenus
e tige centrale, Syst. Canet.
Fig. 28. Canon de 27% de 30 calibres
Frein à contretige centrale
Poids du projectile 216K
Poids de la charge 76K
Vitesse initiale 580m
Courbe des vitesses de recul
Echelle des pressions
be des pressions dans les cylindres
Recul normal 1m 35
Hauteur des tourillons 6m 000
Ligne de
Canon de 32% sur affût de côte
Frein à contretige centrale
Fig. 20. 3me Sé
Coups Nses
Poids du Projectile 342K
Poids de la charge 116K
Vitesse initiale 560m
ourbe des vitesses de recul
Echelle des pressions
urbe des pressions dans les cylindres
Recul normal 1m 400
à tir rapide
minées dans le frein au moment du tir
Fig. 32.
Courbe des vitesses de recul
Poids du projectile en fonte 14K
Vitesse initiale 768m
Maximum 11000K
Courbe des pressions totales
Longueur du recul
12% à tir rapide
axima des trajectoires
de la tension de la trajectoire
Fig. 14. Élév
es longueurs de canons
vitesse initiale
de 80 calibres
nées dans le frein au moment du tir
Fig. 34.
Courbe des vitesses de recul
Poids du projectile en fonte 2K7
Vitesse initiale relevée 921m
Maximum 5000K
Courbe des pressions totales
Fig. 15. Plan
Canons de 12% de 30 40 45 et 5
Variations des épaisseurs
suivant la longueur du canon
V0=780
V0=720
V0=680
V0=600
21. Plan
eau cible



ux

anon Canet à tir rapide
calibres sur affût de marine.



e 10 °/m à tir rapide de 48 calibres
Modèle 1888.



Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque. Paris.

x

anon Canet à tir rapide
calibres sur affût de marine.



e 10 c/m à tir rapide de 48 calibres
Modèle 1888.



Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque Paris.

ıide non Canet de 15 $^c/_m$ de 3 6calibres
rrazurût de batterie à pivot central.



$^c/_m$ — Empreintes à la Gutta-Percha
duites par les poudres dans l'âme de canons étrangers.



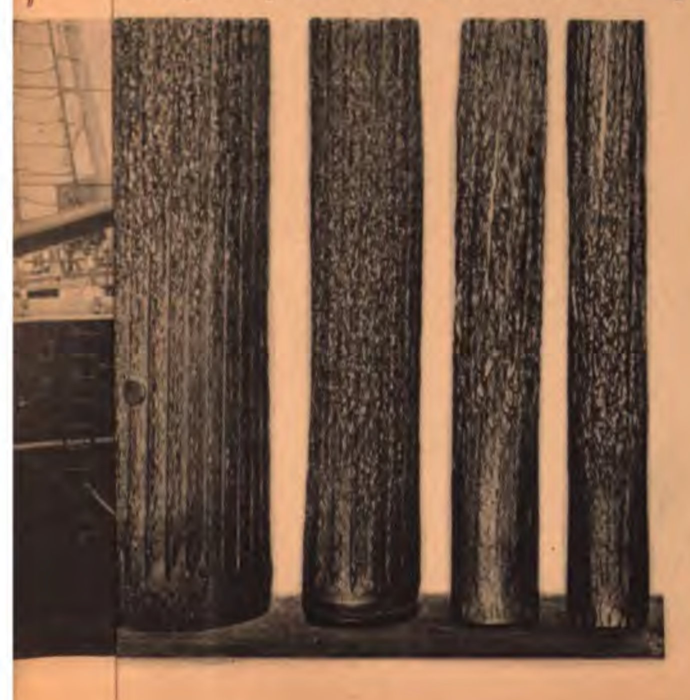
apide non Canet de 15 c/m de 3 6calibres

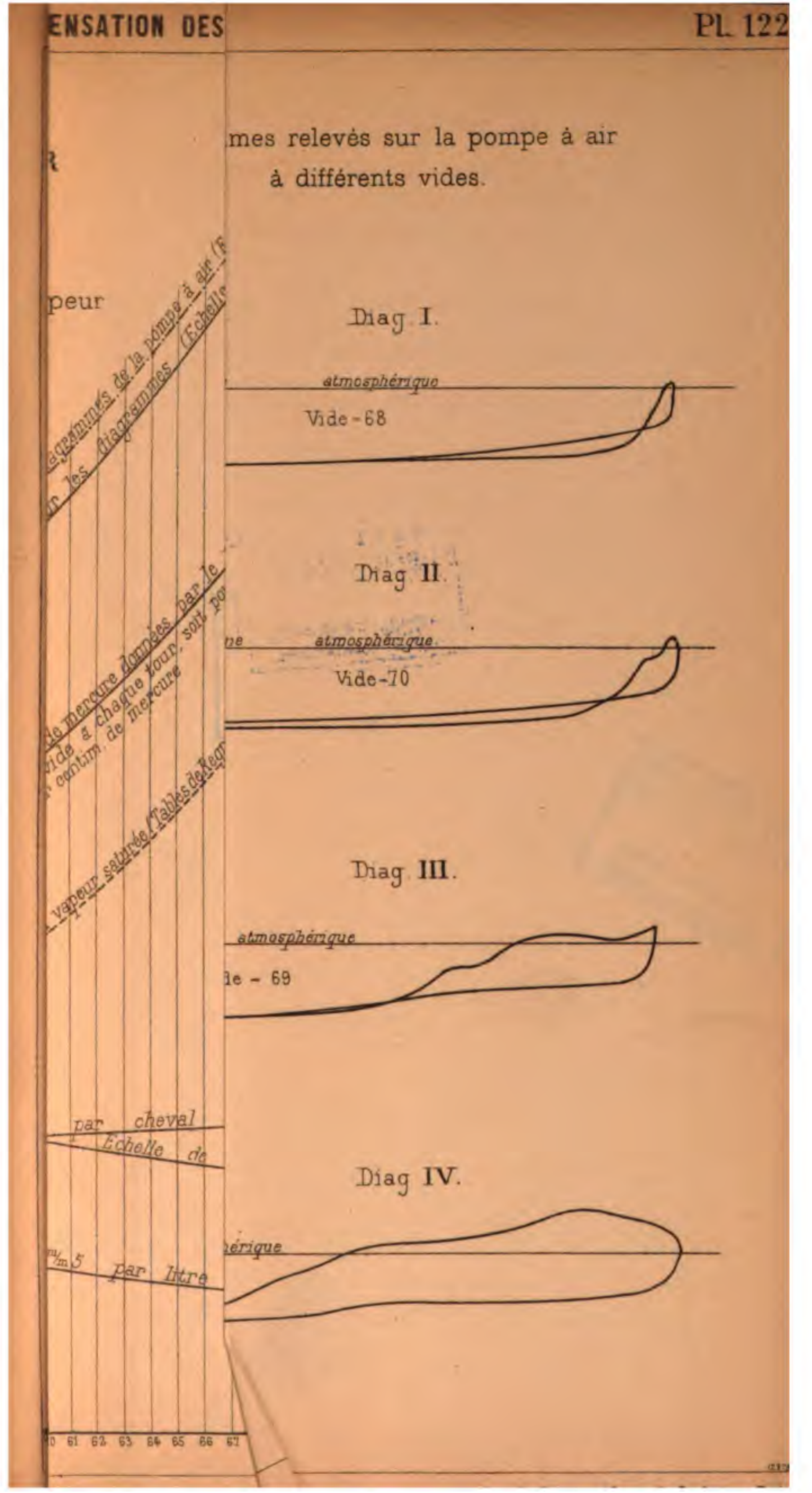
-Errazurût de batterie à pivot central.

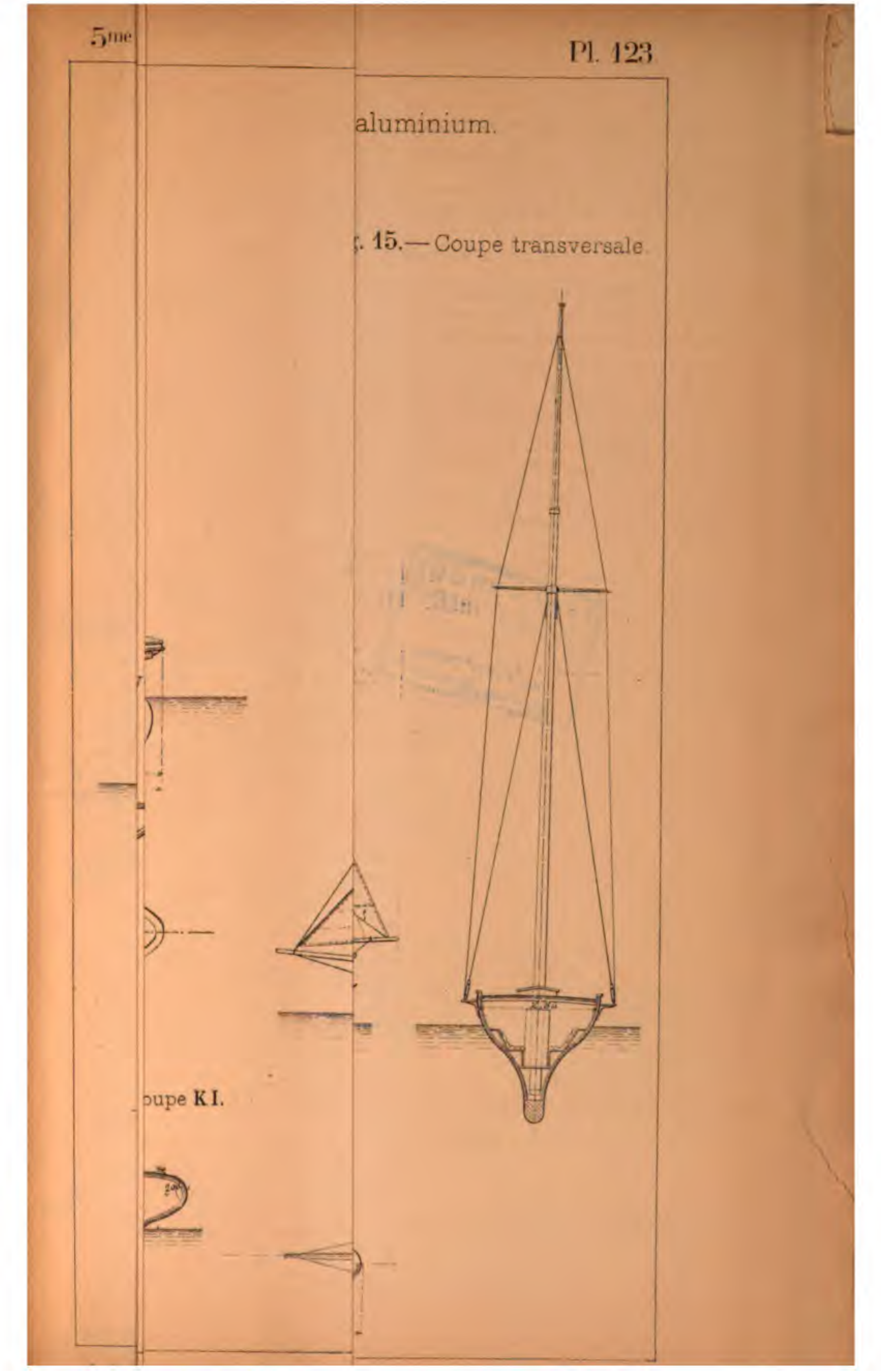


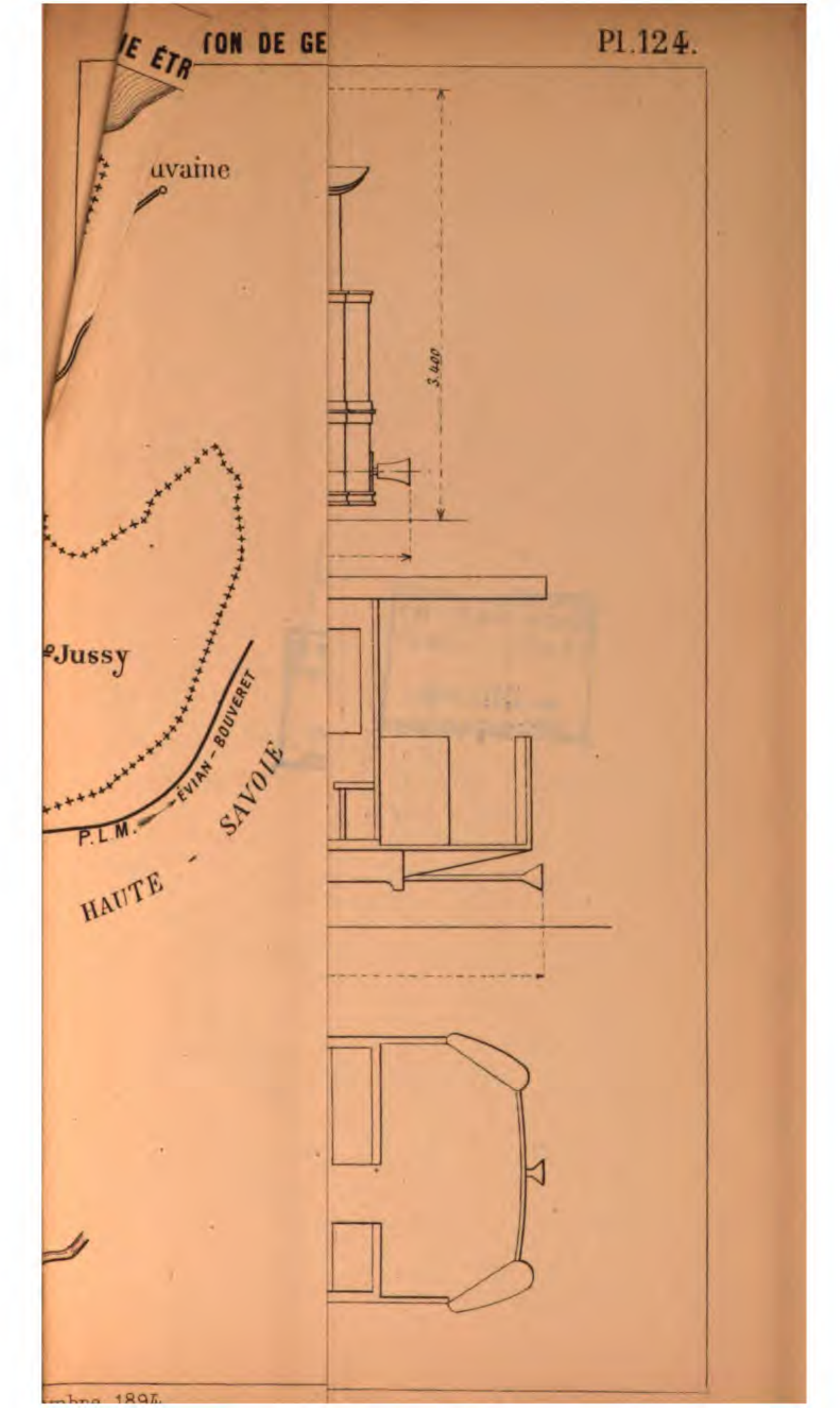
5 c/m — Empreintes à la Gutta-Percha

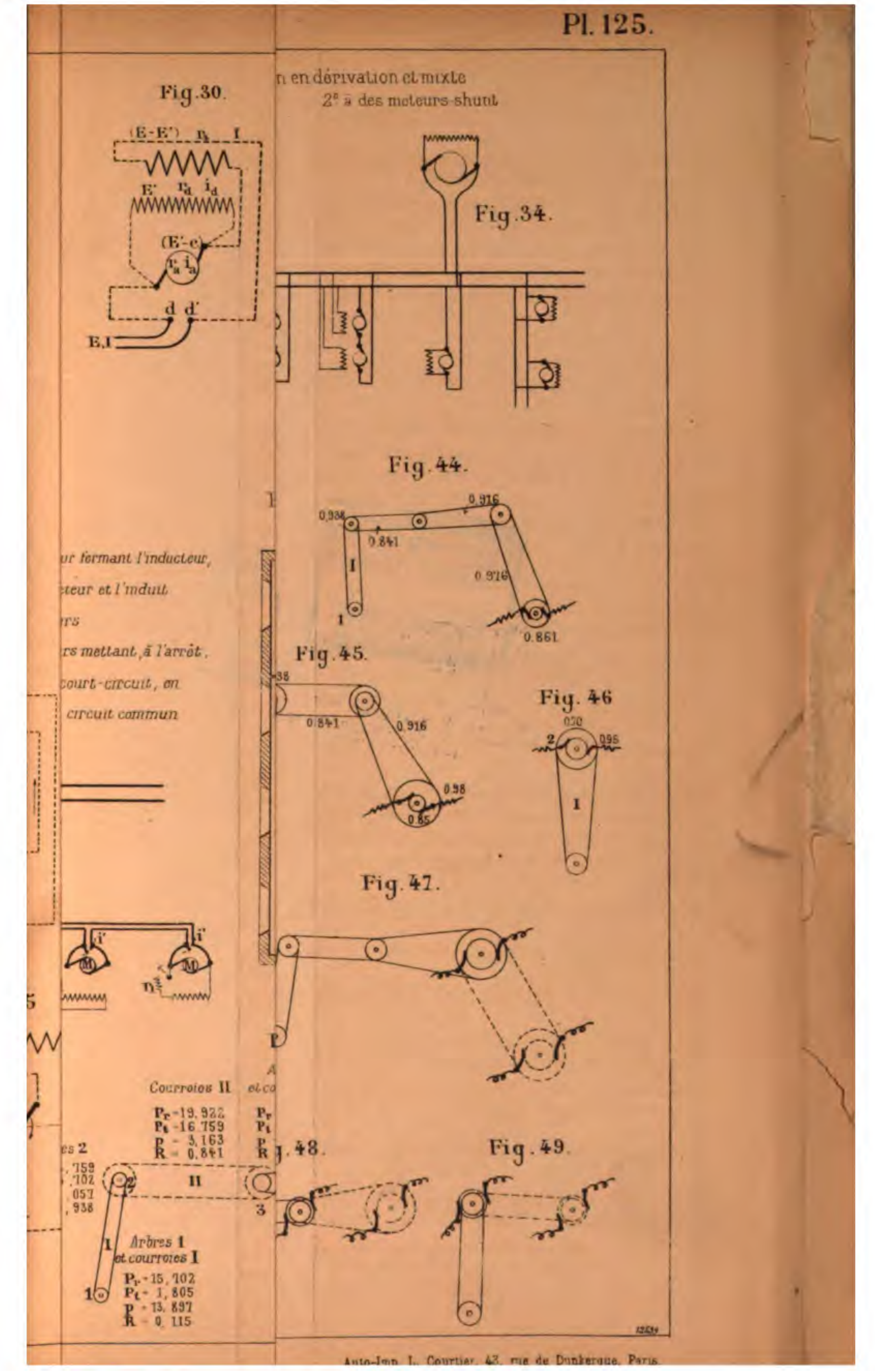
duites par les poudres dans l'âme de canons étrangers.



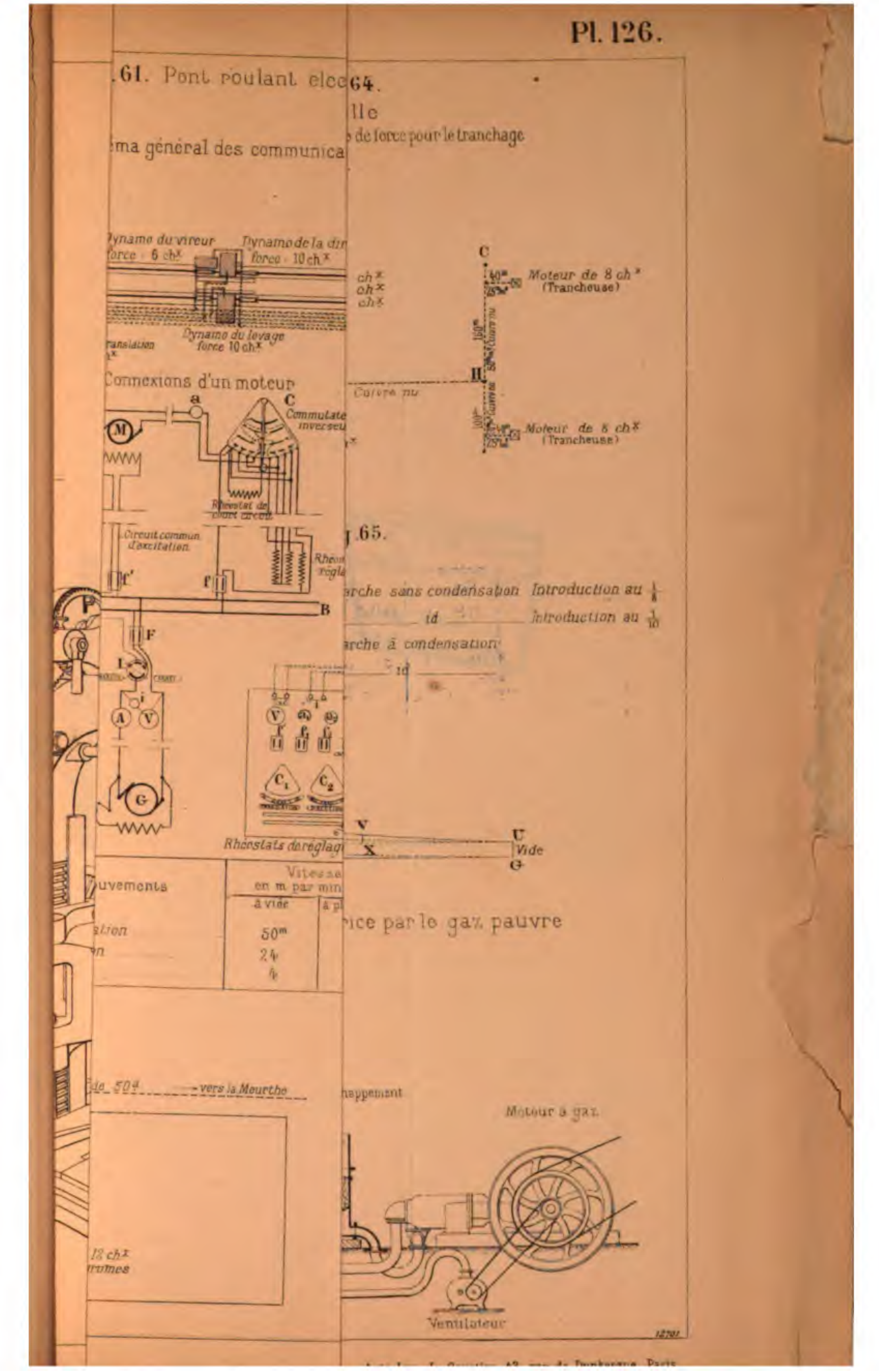

mes relevés sur la pompe à air
à différents vides.
peur
Diag. I.
atmosphérique
Vide - 68
Diag. II.
atmosphérique
Vide - 70
Diag. III.
atmosphérique
de - 69
Diag. IV.
par cheval
Echelle de
par litre
61 62 63 64 65 66 67


5me
Pl. 123
aluminium.
. 15.— Coupe transversale.
oupe KI.


IE ÉTR
TON DE GE
uvaine
3.400
Jussy
P.L.M. ÉVIAN - BOUVERET
HAUTE - SAVOIE



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.


.61. Pont roulant élec
ma général des communica
Dynamo du vireur force 6 chx
Dynamo de la dir force 10 chx
Dynamo du levage force 10 chx
ranslation
Connexions d'un moteur
a
C
Commutate inverseu
M
Rhéostat de court circuit
Circuit commun d'excitation
f'
f
B
F
A
V
G
C1
C2
Rhéostats de réglag
uvements
Vitesse en m. par min
à vide
50m
24
4
de 50d
vers la Meurthe
12 chx
64.
lle
de force pour le tranchage
ch x
ch x
ch x
C
H
Moteur de 8 chx (Trancheuse)
Moteur de 8 chx (Trancheuse)
Cuivre nu
65.
rche sans condensation Introduction au 1/8
id Introduction au 1/10
rche à condensation
id
V
X
U
Vide
G
ice par le gaz pauvre
happement
Moteur à gaz
Ventilateur
12701

